

# MASTER'S THESIS

## Modererend Effect van Werkgeheugencapaciteit op Prestaties en Cognitieve Belasting in een Redundancy en Split-attention Multimedia Toetsontwerp.

Henze, Marjolein

**Award date:**  
2020

[Link to publication](#)

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[pure-support@ou.nl](mailto:pure-support@ou.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Downloaded from <https://research.ou.nl/> on date: 05. May. 2023

**Open Universiteit**  
[www.ou.nl](http://www.ou.nl)



Modererend Effect van Werkgeheugencapaciteit op Prestaties en Cognitieve Belasting in een  
Redundancy en Split-attention Multimedia Toetsontwerp

Moderating Effect of Working Memory Capacity on Performance and Cognitive Load in a  
Redundancy and Split-attention Multimedia Test Design

M. Henze

Master Onderwijswetenschappen  
Open Universiteit

Datum: 8-9-2020

Naam begeleiders: Dr. I. Skuballa, Dr. K.J.H. Dirkx, Prof. Dr. H.M. Jarodzka,

## Inhoudsopgave

Samenvatting .....	3
Summary .....	5
Inleiding .....	7
Assumpties over het Werkgeheugen .....	8
Cognitieve Belasting van het Werkgeheugen .....	10
Ontwerpprincipes vanuit CTML en CLT .....	11
Invloed Werkgeheugen op Leer- en Toetsprestaties bij basisschoolleerlingen .....	12
Vraagstellingen en Hypothesen .....	14
Methode .....	16
Context .....	16
Ontwerp .....	16
Onderzoeksgroep .....	17
Materialen .....	18
Procedure .....	22
Data-analyse .....	23
Resultaten .....	24
Pre-analyse .....	24
Toetsresultaten .....	26
Cognitieve Belasting .....	27
Conclusie en Discussie .....	29
Conclusie .....	29
Beperkingen van huidig onderzoek en aanbevelingen voor vervolgonderzoek .....	33
Referenties .....	35
Bijlage .....	41

# Modererend Effect van Werkgeheugencapaciteit op Prestaties en Cognitieve Belasting in een Redundancy en Split-attention Multimedia Toetsontwerp

M. Henze

## Samenvatting

Technologische ontwikkelingen maken het steeds beter mogelijk toetsen te voorzien van multimedia (zoals afbeeldingen, tekst en bewegende beelden). Er is veel onderzoek gedaan naar het toepassen van multimedia in instructiesituaties en vanuit de Cognitive Load Theory (CLT; Sweller, 2011) en Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; Mayer, 2014) zijn er ontwerpprincipes geformuleerd voor digitale leermiddelen. Er is echter nog weinig bekend over de wijze waarop multimedia zinvol in computer-gebaseerde toetsen (CBT) geïmplementeerd kan worden. Het doel van huidige studie is om meer inzicht te krijgen in het modererende effect van werkgeheugencapaciteit op de relatie tussen een toetsontwerp enerzijds en de toetsresultaten en cognitieve belasting anderzijds, zodat specifieke ontwerpprincipes voor CBT geformuleerd kunnen worden.

In een *within-subject design* werd een digitale rekentoets gemanipuleerd volgens ontwerpprincipes uit CTML (*redundancy* en *split-attention*), met toetsresultaten en cognitieve belasting als afhankelijke variabelen en individuele werkgeheugencapaciteit als modererende variabele. De onderzoeksgroep bestond uit leerlingen uit groep 7 (leerjaar 5) van zes verschillende basisscholen voor regulier primair onderwijs. In totaal hebben 106 leerlingen deelgenomen aan het onderzoek, waarvan 57 jongens en 49 meisjes (9-12 jaar). Alle leerlingen maakten een ruimtelijk-visuele werkgeheugentaak (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Prast, & Van Luit, 2014), een verbale werkgeheugentaak (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Jolani, & Van Luit, 2015) en een aangepaste computer-gebaseerde rekentoets. Bij de rekentoets werd bij de helft van de toetsitems de CTML-ontwerpprincipes *redundancy* en *split-attention* toegepast en na ieder toetsitem de ervaren cognitieve belasting aangegeven op de *Mental Effort Rating Scale* (Paas, 1992).

In tegenstelling tot de verwachting laten de resultaten zien dat verschillen in werkgeheugencapaciteit het effect van aanpassingen in een rekentoets op toetsresultaten niet heeft beïnvloed. Daarnaast is gebleken dat verschillen in werkgeheugencapaciteit geen invloed heeft gehad op het effect van het toetsontwerp op de ervaren cognitieve belasting, behalve bij de ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit in de *split-attention* conditie. Deze bevindingen suggereren dat verschillen in werkgeheugencapaciteit veel minder van belang zijn tijdens toetsing dan tijdens leren en dat hierdoor de effecten van een toetsontwerp op toetsresultaten en cognitieve belasting niet wordt gemodereerd door werkgeheugencapaciteit.

CTML-principes hebben tot doel om de belasting van het werkgeheugen te verminderen, zodat individuele verschillen in werkgeheugencapaciteit worden verminderd. Deze exploratieve studie laat

zien dat CTML-ontwerpprincipes niet zondermeer op CBT kunnen worden toegepast. In deze studie leidden aanpassingen in een multimediatest tot andere effecten dan verwacht op basis van de theorie van multimediaal leren. Er is daarom meer onderzoek nodig om te komen tot onderbouwde ontwerpprincipes voor CBT.

*Trefwoorden:* computer-gebaseerd toetsen (CBT), multimedia, werkgeheugencapaciteit, Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML), *redundancy*, *split-attention*, cognitieve belasting, toetsresultaten

# Moderating Effect of Working Memory Capacity on Performance and Cognitive Load in a Redundancy and Split-attention Multimedia Test Design

M. Henze

## Summary

Technological developments make it possible to provide tests with multimedia (such as pictures, text and videos). Much research has been done on the application of multimedia in instructional situations and design principles have been formulated for digital learning materials from the Cognitive Load Theory (CLT; Sweller, 2011) and Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; Mayer, 2014). However, little is known about how multimedia can be meaningfully implemented in CBT. The aim of the present study is to gain more insight into the moderating effect of working memory capacity on the relationship between a test design on the one hand and test results and cognitive load on the other, so that specific design principles for CBT can be formulated.

In a within-subject design, a digital math test was manipulated according to design principles from CTML (redundancy and split-attention), with test results and cognitive load as dependent variables and individual working memory capacity as a moderating variable. The research group consisted of students from grade 5 of six different schools for regular primary education. A total of 106 students participated in the study, of which 57 boys and 49 girls (9-12 years). All students completed a spatial-visual working memory task (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Prast, & Van Luit, 2014), a verbal working memory task (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Jolani, & Van Luit, 2015) and an adapted computer -based math test. Half of the items in the math test applied the CTML design principles redundancy and split attention, and after each test item the perceived cognitive load was indicated on the Mental Effort Rating Scale (Paas, 1992).

Contrary to expectations, the results show differences in working memory capacity that did not affect the effect of changes in a calculation test on test results. In addition, it was established that differences in working memory capacity had no influence on the effect of the test design on the perceived cognitive load, except for the spatial-visual working memory capacity in the split-attention condition. This suggests that differences in working memory capacity are less important during assessment than during learning and that the effects of a test design on test results and cognitive load are not moderated by working memory capacity.

CTML-principles aim to reduce the working memory load, so individual differences in working memory capacity will be reduced. This exploratory study has shown that CTML design principles cannot simply be applied to CBT. In this study, adaptations in a multimedia test led to different effects than what was expected based on the theory of multimedia learning. More research is therefore needed to arrive at substantiated design principles for multimedia CBT.

*Keywords:* computer-based testing (CBT), multimedia, working memory capacity, Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML), redundancy, split-attention, cognitive load, test results

## Inleiding

Binnen het primair onderwijs wordt veelvuldig gebruik gemaakt van toetsen om te achterhalen in hoeverre leerlingen bepaalde kennis en vaardigheden beheersen (SLO, 2016). Door de toenemende digitalisering, worden papieren toetsen steeds vaker vervangen voor gedigitaliseerde toetsen (Jarodzka & Kirschner, 2014). Technologische ontwikkelingen maken het hierbij mogelijk om toetsen te voorzien van multimedia (zoals afbeeldingen, tekst en bewegende beelden), maar er is nog weinig bekend over het zinvol implementeren en toepassen van multimedia in computer-gebaseerd toetsen (CBT). Echter, er is al veel onderzoek gedaan naar het toepassen van multimedia in leermateriaal. Vanuit de *Cognitive Load Theory* (CLT; Sweller, 2011) en *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML; Mayer, 2014) zijn er daarom ontwerpprincipes geformuleerd voor multimediale leermiddelen. Door het toepassen van deze ontwerpprincipes wordt rekening gehouden met kenmerken van het werkgeheugen en wordt het actief verwerken van informatie bevorderd, wat uiteindelijk leidt tot leren (Kester & Van Merriënboer, 2013).

Kirschner, Park, Malone & Jarodzka (2016) betogen dat multimediale leertheorieën zoals CTML mogelijk ook toepasbaar zijn in toetssituaties. Zowel bij leren als bij toetsen gaat het namelijk om de cognitieve verwerking van multimediale informatie, waarbij het doel van leren het opdoen van informatie is, terwijl het doel van toetsen het ophalen van informatie is (Kirschner et al., 2016). Daarnaast is CTML gebaseerd op assumpties over de werking van het geheugen, welke ook een belangrijke rol spelen bij toetsen. Het is echter niet vanzelfsprekend dat de effecten van het toepassen van CTML-ontwerpprincipes in leer- en toetssituaties hetzelfde zijn. Hier is systematisch onderzoek voor nodig. Jarodzka, Janssen, Kirschner en Erkens (2015) en Manastirean (2017) hebben reeds positieve resultaten gevonden van het toepassen van de CTML-principes bij toetsen in het MBO. Echter, soortgelijk onderzoek in het basisonderwijs ontbreekt nog.

Daarnaast is het volgens Doolittle, Terry en Mariano (2009) zinvol om in onderzoek naar multimediale omgevingen rekening te houden met de verschillen tussen leerlingen in werkgeheugencapaciteit, met name in het primair onderwijs. Onderzoek naar multimediale leeromgevingen laat namelijk zien dat leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit minder snel cognitief overbelast raken door multimediaal leermateriaal dan leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit (Lusk, Evans, Jeffrey, Palmer, & Wikstrom, 2009; Sanchez & Wiley, 2006; Skuballa, Schwonke, & Renkl, 2012). Doordat leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit beter in staat zijn irrelevante informatie te onderdrukken of te negeren, worden zij minder cognitief belast waardoor zij doelgerichter kunnen werken. Dit in tegenstelling tot kinderen met een lage werkgeheugencapaciteit. Zij hebben meer moeite met het onderdrukken van irrelevante informatie, waardoor zij meer cognitief belast worden en dus eerder hinder hebben van de beperkte werkgeheugencapaciteit. Door het goed toepassen van CTML-ontwerpprincipes kan cognitieve



(over)belasting van het werkgeheugen voorkomen worden, waardoor met name leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit profiteren (Wiley, Sanchez & Jeager, 2014). Of dit ook geldt voor toetsen is niet bekend, omdat er nog geen onderzoek is gedaan naar werkgeheugencapaciteit binnen multimediale toetsomgevingen. Het is daarom zinvol om te onderzoeken of verschillen in werkgeheugencapaciteit ook van belang zijn binnen CBT. Binnen dit exploratieve onderzoek wordt dan ook gekeken of er een modererend effect is van werkgeheugencapaciteit op de relatie tussen toetsontwerp enerzijds en toetsresultaten en cognitieve belasting anderzijds.

### **Assumpties over het Werkgeheugen**

In CTML staat het leren met behulp van multimedia in instructiesituaties centraal, waarbij met multimedia wordt verwezen naar een combinatie van woorden (bijv. gesproken en geschreven teksten) en beelden (bijv. illustraties, animaties en videofragmenten). Binnen CTML wordt ervan uitgegaan dat het gebruik van multimedia kan leiden tot dieper leren, mits er gebruik wordt gemaakt van een optimaal ontwerp. CTML baseert zich hierbij op drie veronderstellingen over de werking van het geheugen (Mayer, 2014).

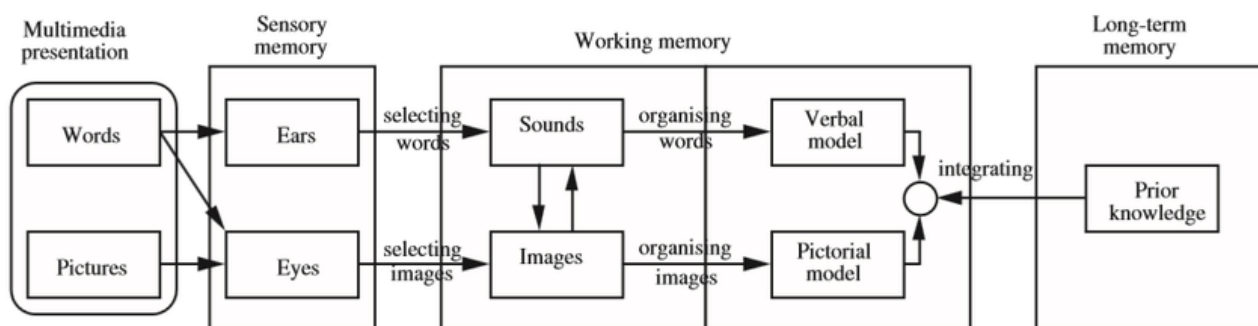
De eerste veronderstelling is de *Dual Channel-assumption*, waarbij ervan uitgegaan wordt dat informatie in het werkgeheugen in twee gescheiden verwerkingskanalen wordt verwerkt. In het verbale verwerkingskanaal worden geluiden en gesproken woorden verwerkt en in het non-verbale verwerkingskanaal worden geschreven teksten en afbeeldingen verwerkt (Mayer, 2014). Ook Baddeley gaat uit van meerdere subsystemen om informatie te verwerken. Volgens Baddeley (2000) bestaat het werkgeheugen uit een hoofdsysteem en drie subsystemen. Het hoofdsysteem (centraal executief systeem) ontvangt informatie dat via de ogen of oren binnenkomt en reguleert deze informatiestromen door te bepalen aan welke informatie aandacht wordt besteed (*attentional control*). Daarnaast bepaalt het centraal executief systeem in welk subsysteem (fonologische lus of visuospatieel kladblok) informatie tijdelijk wordt opgeslagen (Baddeley, 2000). In de fonologische lus wordt auditieve en verbale informatie (zoals klanken, geluiden en gesproken woorden) opgeslagen en verwerkt, terwijl ruimtelijke en visuele informatie (zoals afbeeldingen, animaties en geschreven tekst) in het visuospatieel kladblok wordt opgeslagen en verwerkt. De fonologische lus en het visuospatieel kladblok kunnen informatie gelijktijdig opslaan en verwerken. In het derde subsysteem (episodische buffer) wordt ruimtelijk-visuele en verbaal-auditieve informatie met elkaar verbonden. Daarnaast vormt het de schakel met het langetermijngeheugen, door voorkennis uit het langetermijngeheugen te integreren met informatie uit het werkgeheugen (Baddeley, 2000).

In Figuur 1 wordt grafisch weergegeven hoe multimediaal leren volgens CTML verloopt. Hierin is te zien hoe multimediale informatie binnenkomt via de ogen of oren, waarna een selectie van deze informatie wordt doorgestuurd naar het verbale (geluiden) of visuele verwerkingskanaal

(afbeeldingen) en hoe vervolgens de nieuwe informatie wordt geïntegreerd met kennis uit het langetermijngeheugen (Mayer, 2014). Geschreven tekst komt aanvankelijk binnen in een visuele modaliteit, maar wordt na selectie omgezet tot (innerlijke) gesproken tekst, waarna het verder wordt verwerkt in het verbale verwerkingskanaal (Mayer, 2008).

### Figuur 1

*Grafisch Verwerkingsmodel van de Cognitieve Theorie voor Multimediaal Leren* (Mayer, 2014, pp. 66)



*Notitie.* De boxen vertegenwoordigen de (tijdelijke) geheugenopslag en de pijlen verwijzen naar de cognitieve processen die plaatsvinden tijdens het verwerken van multimediaal leermateriaal.

Op basis van de *Dual Channel-assumption* stelt Mayer (2008) dat multimediale instructie bij kan dragen aan effectief en dieper leren. Een multimediale instructie bestaat uit woorden en afbeeldingen, waarbij woorden worden verwerkt in het verbale verwerkingskanaal en afbeeldingen in het visuele verwerkingskanaal. Hierdoor wordt de beperkte capaciteit van de verwerkingskanalen goed benut, omdat beide kanalen worden ingezet bij het verwerken van de multimediale informatie. Daarnaast worden in beide kanalen verschillende mentale modellen gevormd, die samen met voorkennis leiden tot rijke mentale modellen (Mayer, 2008). Doordat het binnen CBT technisch mogelijk is visuele informatie met verbale informatie te combineren, zou de *Dual Channel-assumption* ook relevant voor toetsing kunnen zijn (Beddow, 2018).

De *Limited Capacity-assumption* vormt de basis voor de tweede veronderstelling en gaat over de beperkingen van het werkgeheugen. In het werkgeheugen wordt informatie tijdelijk opgeslagen en bewerkt, waarbij informatie circa tien seconden kan worden vasthouden (Baddeley, 2012; Kester & Van Merriënboer, 2013). Het werkgeheugen beschikt over een capaciteit van plusminus zeven verschillende elementen die gelijktijdig actief gehouden kunnen worden (Kester & Van Merriënboer, 2013), maar waarbij het aantal elementen afneemt als deze eerst georganiseerd of gerelateerd moeten worden (Baddeley, 2012).

CLT en CTML richten zich vooral op het goed reguleren van wat er in het werkgeheugen plaatsvindt, zodat de beperkte werkgeheugencapaciteit optimaal benut wordt tijdens het leren en cognitieve overbelasting wordt voorkomen. De *Limited Capacity-assumption* is ook toepasbaar in toetsontwerp, omdat de beperkingen van het werkgeheugen zowel in leer- als in toetssituaties van toepassing zijn (Beddow, 2018).

De derde veronderstelling, de *Active Processing-assumption*, gaat over het actief uitvoeren van cognitieve processen die nodig zijn om informatie in cognitieve schema's te construeren. Deze cognitieve processen omvatten het selecteren van relevante informatie, het organiseren van nieuwe informatie en het integreren met voorkennis (Mayer, 2014). In Figuur 1 worden deze processen weergegeven door middel van de pijlen. Selecteren vindt plaats als een leerling aandacht besteedt aan relevante woorden en beelden. Deze afzonderlijke woorden en beelden worden georganiseerd, zodat structuur ontstaat. Door vervolgens het geselecteerde materiaal te integreren met relevante voorkennis, worden verbindingen geconstrueerd tussen nieuwe informatie en bestaande kennis, waardoor steeds complexere cognitieve schema's ontstaan (Van Merriënboer & Kirschner, 2012).

### **Cognitieve Belasting van het Werkgeheugen**

CLT stelt dat de beperkingen van het werkgeheugen ver strekkende gevolgen heeft voor instructies en leerprocessen, waarbij rekening gehouden moet worden met drie bronnen van cognitieve belasting: intrinsieke belasting, irrelevante belasting en relevante belasting. Intrinsieke belasting verwijst naar belasting die inherent is aan het leermateriaal. Deze belasting is afhankelijk van de complexiteit van het leermateriaal, waarbij de complexiteit wordt bepaald door het aantal elementen dat gelijktijdig geleerd moet worden en de interacties tussen deze elementen (elementinteractiviteit) (Beddow, 2018; Mayer, 2014; Sweller, 2016). Daarnaast wordt de complexiteit bepaald door het voorkennisniveau van de leerling. Voor iemand met weinig tot geen voorkennis kan een leeractiviteit een hoge elementinteractiviteit hebben, terwijl voor een gevorderde leerling dezelfde leeractiviteit slechts een enkel element vormt met een minimale elementinteractiviteit (Sweller, Van Merriënboer & Paas, 2019).

De tweede vorm van cognitieve belasting is irrelevante belasting, dat voornamelijk wordt bepaald door de wijze waarop informatie wordt gepresenteerd en wat een leerling tijdens de instructie moet doen. Irrelevante belasting neemt toe als de beperkte werkgeheugencapaciteit besteed moet worden aan het verwerken van niet-relevante informatie, bijvoorbeeld tijdens het verwerken van leermateriaal waarin een stuk tekst dezelfde informatie bevat als de bijbehorende afbeelding. De niet-relevante informatie verhoogt onnodig de elementinteractiviteit en kan voorkomen worden door het toepassen van effectieve instructies (Sweller et al., 2019).

De derde vorm van cognitieve belasting is relevante belasting en is nodig om tot effectief leren te komen. Deze belasting wordt veroorzaakt door de leerling zelf, doordat het centraal executief systeem in het werkgeheugen bepaalt aan welke informatie aandacht wordt besteed. Hoe meer aandacht gericht is op het verwerken van informatie, hoe effectiever het leerproces (Mayer, 2014). In de CLT wordt ervan uitgegaan dat relevante belasting een zinvolle bijdrage levert aan het leerproces, zolang het de beschikbare werkgeheugencapaciteit niet overbelast. Dus, hoe meer relevante elementen in het werkgeheugen kunnen worden gebracht, hoe beter de constructie van cognitieve schema's verloopt (Beddow, 2018), mits de werkgeheugencapaciteit niet wordt overbelast.

Samenvattend kan gesteld worden dat door het voorkomen van irrelevante belasting in instructiemateriaal, de beschikbare werkgeheugencapaciteit kan worden besteed aan intrinsieke en relevante belasting, waardoor betekenisvol leren ontstaat (Sweller et al., 2019). Beddow suggereert dat ook bij het ontwerpen van toetsen aandacht moet zijn voor cognitieve belasting, waarbij met name overbodige informatie en andere vormen van irrelevante belasting moet worden voorkomen (Elliot, Kettler, Beddow & Kurz, 2018).

Om inzicht te krijgen in de cognitieve belasting van een taak, kunnen analyses van leeruitkomsten gebruikt worden. Deze leeruitkomsten meten niet de werkelijke cognitieve belasting, maar kunnen als objectieve, indirecte indicator van cognitieve belasting dienen (Korbach, Brünken & Park, 2018). Van Gog en Paas (2008) geven aan dat een objectieve meting van leeruitkomsten in combinatie met een subjectieve meting van mentale belasting kunnen worden beschouwd als een goede, valide indicator van de totale cognitieve belasting.

### **Ontwerpprincipes vanuit CTML en CLT**

Vanuit de CTML en CLT zijn meerdere ontwerpprincipes geformuleerd die erop gericht zijn om cognitieve overbelasting te voorkomen (Kester & Merriënboer, 2013). Een van deze ontwerpprincipes is het *redundancy*-principe, dat stelt dat mensen beter leren van afbeeldingen en gesproken woorden dan van afbeeldingen, gesproken woorden en geschreven tekst (Kalyuga & Sweller, 2014). Het *redundancy*-effect verwijst naar cognitieve belasting (irrelevante belasting) die wordt veroorzaakt door overbodige informatie enerzijds en dubbele informatie anderzijds (Kalyuga & Sweller, 2014; Mayer & Moreno, 2002). Meerdere studies (o.a. Berends & Van Lieshout, 2009; Bobis, Sweller & Cooper, 1993) hebben aangetoond dat irrelevante belasting in leermateriaal toeneemt als geschreven tekst dezelfde informatie bevat als de bijbehorende afbeelding, waardoor deze informatie overbodig is en hierdoor het leren hindert. Beddow (2018) suggereert dat in een toetsontwerp het *redundancy*-effect eveneens kan worden voorkomen door relevante informatie uitsluitend in één presentatievorm weer te geven.

Een tweede ontwerpprincipe is het *split-attention* principe dat stelt dat mensen beter leren van informatie die fysiek en temporeel geïntegreerd wordt aangeboden. Het *split-attention*-effect treedt op als leerlingen hun aandacht moeten verdelen over relevante informatie die wordt aangeboden in twee of meer bronnen die ruimtelijk of temporeel van elkaar zijn gescheiden (Ayres & Sweller, 2014). Doordat leerlingen deze gescheiden informatie eerst mentaal moeten integreren, neemt irrelevante belasting van het werkgeheugen toe (Ayres & Cierniak, 2012). Voor het ontwerp van leermateriaal betekent dit dat relevante informatie dicht bij elkaar aangeboden moet worden, zodat er geen aandacht wordt verspild aan het onnodig zoeken van informatie.

Onderzoek naar de effecten van ontwerpprincipes in CBT zijn schaars, maar Jarodzka et al. (2015) onderzochten het *split-attention* principe in een multimediale toets voor MBO-studenten. Resultaten uit dit onderzoek toonden dat studenten efficiënter werkten in een toetsontwerp dat niet was aangepast volgens *split-attention*. In navolging op dit onderzoek onderzocht Manastirean (2017) de invloed van meerdere CTML-ontwerpprincipes (o.a. *redundancy* en *split-attention*) in een multimediale rekentoets eveneens bij MBO-studenten. Dit onderzoek toonde aan dat binnen CBT de cognitieve belasting beïnvloed kan worden door het toepassen van CTML-ontwerpprincipes. Soortgelijk onderzoek is nog niet uitgevoerd in het primair onderwijs, terwijl hier ook steeds meer gebruik gemaakt wordt van CBT (Onderwijsraad, 2017). Het is daarom zinvol om ook in het primair onderwijs onderzoek naar de effecten van ontwerpprincipes in CBT uit te voeren, waarbij het belangrijk is werkgeheugencapaciteit mee te nemen (Doolittle et al., 2009).

### **Invloed Werkgeheugen op Leer- en Toetsprestaties bij basisschoolleerlingen**

Het werkgeheugen speelt bij het leren en toetsen een belangrijke rol. Tijdens het leerproces worden in het werkgeheugen cognitieve schema's geconstrueerd, waarbij nieuwe informatie wordt gekoppeld en geïntegreerd met bestaande (voor)kennis uit het langetermijngeheugen (Van Merriënboer & Kirschner, 2012). Een goed instructieontwerp zorgt ervoor dat cognitieve schema's efficiënt en effectief geconstrueerd en geautomatiseerd worden, waarbij de cognitieve belasting die hierdoor ontstaat de beperkingen van het werkgeheugen niet overschrijdt (Van Merriënboer & Kirschner, 2012). In tegenstelling tot het werkgeheugen, beschikt het langetermijngeheugen over een ongelimiteerde capaciteit. Hierdoor kunnen cognitieve schema's, soms bestaande uit grote hoeveelheden informatie, langdurig worden opgeslagen in het langetermijngeheugen (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998). Tijdens toetsing worden cognitieve schema's uit het langetermijngeheugen als één element teruggeplaatst in het werkgeheugen, waardoor dit nauwelijks capaciteit van het werkgeheugen vraagt (Van Merriënboer & Sweller, 2005). Uit onderzoek blijkt dat individuele verschillen in werkgeheugencapaciteit gevolgen hebben voor het leerproces (Alloway & Alloway, 2010). Leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit hebben doorgaans meer moeite met het onthouden van

informatie, het volgen van instructies en het kiezen en stapsgewijs uitvoeren van complexe strategieën, dan leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit (Alloway, Gathercole, & Pickering, 2006). Daarnaast zijn leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit beter in staat informatie te bewerken en relevante voorkennis uit het langetermijngeheugen op te halen (Van der Ven, Boom, Kroesbergen, & Leseman, 2012). Dit suggereert dat individuele verschillen in werkgeheugencapaciteit ook gevolgen zullen hebben voor CBT, aangezien het ophalen van relevante informatie uit het geheugen bij toetsing een belangrijke rol speelt. Hier is echter nog geen onderzoek naar gedaan.

Het werkgeheugen blijkt een belangrijke voorspeller voor prestaties gerelateerd aan specifieke vakgebieden, zoals rekenen (Toll, Van der Ven, Kroesbergen, & Van Luit, 2010; Friso-van den Bos, Van der Ven, Kroesbergen, & Van Luit, 2013). De drie subsystemen van het werkgeheugen zijn het sterkst gerelateerd aan algemene reken-wiskunde toetsen (zoals Cito toetsen), omdat deze een grote variatie in probleemoplossingen aanbieden, waardoor leerlingen moeten schakelen tussen verschillende operaties, strategieën en cognitieve modellen (Friso-van den Bos et al., 2013). Kinderen jonger dan zeven jaar doen veelal een beroep op het visuospatieel kladblok voor het onthouden en ophalen van ruimtelijk-visuele informatie (Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004). Naarmate kinderen ouder worden en het werkgeheugen zich verder ontwikkelt, wordt steeds meer gebruik gemaakt van het auditieve werkgeheugen (fonologische lus) (Gathercole et al., 2004; Friso-Van den Bos et al., 2013; Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Jolani, & Van Luit, 2015). Het ruimtelijk-visueel werkgeheugen (visuospatieel kladblok) wordt door oudere kinderen vooral ingezet bij moeilijkere rekenopgaven, zodra oplossingsstrategieën die op de fonologische lus zijn gebaseerd niet meer toereikend zijn (Holmes & Adams, 2007). Samengevat betekent dit dat leerlingen, ouder dan 7 jaar, tijdens het uitvoeren van rekentaken zowel het ruimtelijk-visuele werkgeheugen als het verbale werkgeheugen inzetten. Voor huidig onderzoek betekent dit dat het zinvol is om beide subsystemen van het werkgeheugen mee te nemen, zodat onderzocht kan worden of de ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit en/of verbale werkgeheugencapaciteit van invloed is op de resultaten na het toepassen van CTML-ontwerpprincipes in een toetsontwerp. Mogelijk profiteren leerlingen met een lage ruimtelijk-visuele en/of verbale werkgeheugencapaciteit van een aangepast toetsontwerp, omdat in onderzoek naar de voordelen van leren in multimediale leeromgevingen steeds meer bewijzen worden gevonden dat leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit meer profiteren van aangepast multimediaal leermateriaal dan anderen (Doolittle, Terry, & Mariano, 2009; Wiley et al., 2014). Zo bleek uit onderzoek van Sanchez en Wiley (2006) dat leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit cognitief minder presteerden bij multimediaal leermateriaal waarin niet-relevante afbeeldingen werden getoond, dan leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit meer moeite hebben met het focussen op de taak (*attentional control*) en de relevante elementen uit de multimediale leeromgeving (Sanchez & Wiley,

2006). De *attentional control* moet namelijk verdeeld worden tussen relevante en niet-relevante informatie en deze interferentie van de aandacht heeft een negatief effect op het leerproces (Mayer & Moreno, 2002). In situaties waarin de aandacht uitsluitend op relevante informatie wordt gericht, bijvoorbeeld doordat er geen redundante informatie wordt gegeven, leveren een positief effect op leren (Van Gog, 2014). Vooral leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit lijken te profiteren van aangepast multimediaal leermateriaal, omdat zij sneller cognitief overbelast raken door multimediaal leermateriaal dat niet is aangepast in vergelijking met leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit (Sanchez & Wiley, 2006; Lusk et al., 2009; Skuballa et al., 2012).

*Attentional control* kan als functie van het centraal executief systeem worden gemeten in *complex span tasks*, waarbij ook de opslag en bewerking van informatie wordt gevraagd (Mayer, 2014) van zowel het ruimtelijk-visueel als het verbale werkgeheugen (Van de Weijer-Bergsma et al., 2015). Om de werkgeheugencapaciteit in multimediale leeromgevingen te meten, kan gebruik gemaakt worden van *complex span tasks* die een visueel component (bijv. afbeeldingen, animaties) en een auditief component (bijv. tekst, vertelling) bevatten (Doolittle et al., 2009).

Of leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit eveneens profiteren van aangepast multimediaal toetsmateriaal moet nog onderzocht worden. Wel suggereert Beddow (2018) dat toetsontwerpers ervoor moeten zorgen dat toetsitems zo puur mogelijk kennis en vaardigheden meten, waarbij cognitieve belasting moet worden beperkt tot een minimum. Op deze manier zou ervoor gezorgd kunnen worden dat toetsresultaten geen variantie bevatten als gevolg van de individuele werkgeheugencapaciteit (Beddow, 2018). Om tot CBT-ontwerpprincipes te komen, waarin de mogelijke effecten van individuele werkgeheugencapaciteit tot een minimum zijn gereduceerd, is onderzoek nodig waarin werkgeheugencapaciteit als mogelijke modererende factor wordt meegenomen. Zo kan worden onderzocht of werkgeheugencapaciteit het effect van het toepassen van CTML-principes in een toetsontwerp op toetsresultaten en cognitieve belasting beïnvloedt. Mogelijk zal dit effect voor leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit anders zijn dan voor leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit (Beddow, 2018; Kirschner, Park, Malone & Jarodzka, 2016).

### **Vraagstellingen en Hypothesen**

Uit onderzoek is gebleken dat de individuele werkgeheugencapaciteit van invloed is op leerprestaties in multimediale leeromgevingen (Doolittle et al., 2009). Door tijdens het ontwerpen van multimediaal leermateriaal rekening te houden met de werkgeheugencapaciteit, kan overbelasting van het werkgeheugen worden voorkomen (Van Merriënboer & Sweller, 2005). Hierdoor profiteren met name leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit van aanpassingen volgens de ontwerpprincipes van CTML (Doolittle et al., 2009). Of dit ook het geval is voor toetsen is de vraag. Op basis van deze gegevens wordt in deze studie onderzocht welke rol de werkgeheugencapaciteit speelt in multimediale

toetsomgevingen. De bijbehorende exploratieve onderzoeksvraag luidt:

‘Is werkgeheugencapaciteit een mogelijke moderator in het effect van het toetsontwerp op toetsresultaten en cognitieve belasting in een CBT-omgeving?’

Deze exploratieve onderzoeksvraag wordt onderzocht door basisschoolleerlingen aangepaste en niet-aangepaste toetsvragen te laten maken in een digitale rekentoets. Tijdens de rekentoets wordt de cognitieve belasting gemeten en worden de toetsresultaten van de aangepaste en niet-aangepaste toetsvragen met elkaar vergeleken. Hierbij wordt gekeken of het effect van het toetsontwerp op toetsresultaten en cognitieve belasting wordt gemodereerd door de capaciteit van het werkgeheugen en wordt onderzoek gedaan naar de relatie tussen deze variabelen.

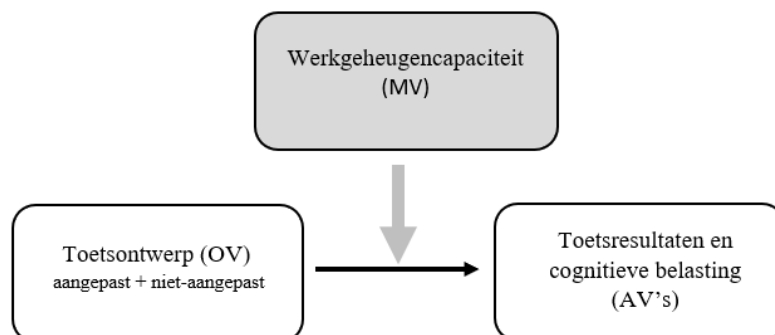
Op basis van eerdere bevindingen op het gebied van multimediaal leren kan verondersteld worden dat:

- a) Het effect van het toetsontwerp op toetsresultaten van basisschoolleerlingen wordt gemodereerd door de werkgeheugencapaciteit. Dit effect van werkgeheugencapaciteit op toetsresultaten neemt af als het toetsontwerp is aangepast volgens ontwerpprincipes van CTML (namelijk *redundancy* en *split-attention*).
- b) Het effect van het toetsontwerp op de ervaren cognitieve belasting van basisschoolleerlingen wordt gemodereerd door de werkgeheugencapaciteit. Dit modererende effect van werkgeheugencapaciteit neemt af als het toetsontwerp is aangepast volgens ontwerpprincipes van CTML (namelijk *redundancy* en *split-attention*).

In Figuur 2 staan de variabelen van dit onderzoek grafisch weergegeven in een conceptueel onderzoeksmodel.

## Figuur 2

*Conceptueel Onderzoeksmodel van de Thesiskring, met daarin de Focus van Huidige Thesis in de Grijze Kleur.*





*Notitie.* OV = onafhankelijke variabele; AV = afhankelijke variabele; MV = modererende variabele.

## **Methode**

### **Context**

Huidig onderzoek maakt deel uit van een thesiskring, waarbij de onderzoeksuitdaging ligt in het formuleren van geschikte ontwerpprincipes voor CBT, om zo te komen tot een cognitieve theorie voor multimediaal toetsen (Jarodzka et al., 2015). Twee theses focussen op ontwerpprincipes uit de CTML: Bolks (2020) doet onderzoek naar de invloed van het aanpassen van een rekentoets volgens het *redundancy*-principe (Kalyuga & Sweller, 2014), en Geneugelijk (2020) doet onderzoek naar de invloed van het aanpassen van een rekentoets volgens het *split-attention*-principe (Ayres & Sweller, 2014). De huidige thesis bouwt voort op het werk van Bolks en Geneugelijk door de invloed van werkgeheugencapaciteit als modererende variabele mee te nemen. Vanwege de overlap in vraagstellingen binnen de drie theses is ervoor gekozen om gezamenlijk data te verzamelen. Hierbij is ook de rol van *math self-efficacy* exploratief onderzocht, maar dit maakt geen onderdeel uit van deze thesis. Het vervolg van de methodesectie beschrijft hoofdzakelijk aspecten van het onderzoek die voor het beantwoorden van de vraagstelling uit huidige thesis van belang zijn.

### **Ontwerp**

Het onderzoek is opgezet volgens een *within-subject experimental design* (Creswell, 2014), met werkgeheugencapaciteit als modererende variabele, het toetsontwerp van een rekentoets (aangepast en niet-aangepast) als onafhankelijke variabele en toetsresultaten en cognitieve belasting als afhankelijke variabelen. Een experimenteel ontwerp sluit goed aan bij dit onderzoek, omdat in deze studie wordt gekeken naar de effecten van manipulaties in het toetsontwerp op toetsresultaten en cognitieve belasting, waarbij werkgeheugencapaciteit als modererende factor wordt meegenomen. Daarnaast is gekozen voor een *within-subjects design*, zodat er geen verschillen tussen de participanten in de verschillende condities zijn. Daarnaast zijn er in een *within-subject design* minder participanten nodig, waardoor dit ten goede komt aan de belastbaarheid van de participanten en de haalbaarheid van het onderzoek (Creswell, 2014).

Om het modererende effect van werkgeheugencapaciteit op cognitieve belasting en toetsresultaten te onderzoeken, is voor alle participanten de ruimtelijk-visuele en verbale werkgeheugencapaciteit bepaald door het afnemen van twee werkgeheugentaken. Daarnaast is een rekentoets afgenomen om toetsresultaten te meten, waarin de helft van de toetsitems zijn aangepast volgens de ontwerpprincipes *redundancy* (Bolks, 2020) en *split-attention* (Geneugelijk, 2020). De andere helft van de toetsitems is authentiek gelaten. Randomisatie van alle toetsitems was binnen het tijdsbestek van deze masterthesis

technisch niet mogelijk. Daarom is ervoor gekozen om de participanten willekeurig over twee toetsversies van de rekentoets (A en B) te verdelen. De cognitieve belasting werd na ieder toetsitem gemeten met behulp van een subjectieve beoordelingsschaal. Tot slot is er een vragenlijst afgenomen voor het meten van *math self-efficacy*. Deze data zal gebruikt worden voor vervolgonderzoek en valt daarmee buiten het bestek van deze thesis.

### Onderzoeksgroep

Op basis van een a-priori powerberekening (gegeven  $\alpha = .05$  en verwachting van een klein effect) is gestreefd naar een onderzoeksgroep van circa 100 participanten. In de analyses van huidig onderzoek is de data gebruikt van 96 leerlingen uit groep 7 in de leeftijd tussen 9 en 12 jaar ( $M = 10.66$ ,  $SD = 0.60$ ), waaronder 41 meisjes en 55 jongens.

De participanten zijn geworven op zes scholen voor regulier basisonderwijs, waar gewerkt wordt volgens het leerstofjaarklassensysteem. Dit betekent dat leerlingen zijn gegroepeerd op basis van hun leeftijd. Voorafgaand aan het onderzoek zijn leerlingen met een ontwikkelperspectief voor rekenen ( $n = 7$ ) uitgesloten. Ontwikkelperspectieven zijn opgesteld door de basisscholen en voldoen aan landelijke normen, zoals een minimale achterstand van twee jaar ten opzichte van het landelijk gemiddelde (wet Passend Onderwijs). Doordat leerlingen met een ontwikkelperspectief voor rekenen op een lager rekenniveau functioneren, beheersen zij nog niet alle kennis en vaardigheden die nodig zijn voor de rekentoets uit dit onderzoek.

Aangezien er in dit onderzoek geen tot de persoon herleidbare gegevens worden verzameld, is passief toestemming gevraagd aan de ouders/verzorgers. Voor zes leerlingen is geen toestemming verkregen en tijdens het onderzoek waren een aantal leerlingen ziek of afwezig vanwege afspraken met externe instanties (zoals logopedie en dyslexiebegeleiding). Op de onderzoeksdagen waren in totaal 106 leerlingen aanwezig die hebben deelgenomen aan het onderzoek, waaronder 49 meisjes en 57 jongens in de leeftijd tussen 9 en 12 jaar ( $M = 10.65$ ,  $SD = 0.60$ ). Deze grote leeftijdsspreiding binnen een leerjaar wordt veroorzaakt doordat het binnen het Nederlandse onderwijssysteem mogelijk is om leerlingen een verlengd kleuterjaar (groep 1 of 2) te geven, te laten doubleren of te versnellen.

De werkgeheugentaken (Leeuwenspel en Apenspel) zijn door 106 deelnemers gemaakt. Hiervan hebben 52 leerlingen toetsversie A en 54 leerlingen toetsversie B van de rekentoets gemaakt. Achteraf zijn drie leerlingen uitgesloten van het onderzoek vanwege ontbrekende data op de rekentoets. In SPSS zijn extreme outliers bepaald met een Wisker's plot, waardoor de data van nog eens zeven leerlingen niet verder zijn meegenomen in de analyses. De data van 96 leerlingen zijn verder meegenomen in de analyses van dit onderzoek.

## Materialen

### *Werkgeheugencapaciteit*

**Leeuwenspel.** Met het Leeuwenspel (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Prast, & Van Luit, 2014) wordt omvang en updaten gemeten van het ruimtelijk-visueel werkgeheugen. De leerlingen krijgen een matrix getoond van 4 x 4 kaartjes met de afbeelding van een struik. Tijdens iedere beurt worden acht leeuwen, gedurende 2 seconden, in verschillende kleuren (rood, blauw, groen, geel, en paars) gepresenteerd op verschillende plekken. De leerlingen moeten de laatste plek onthouden waar een leeuw in een bepaalde kleur is verschenen, en deze plek met de muis aanklikken als de reeks is geëindigd. De test bestaat uit vijf levels, waarbij het werkgeheugen wordt gemanipuleerd door het aantal verschillende kleuren, en dus door het aantal locaties, die onthouden en geüpdatet moeten worden. Het aantal items dat in de juiste volgorde wordt gegeven, bepaalt de score op de test (score 0-60). In Figuur 4 is een screenshot van de 4x4 matrix uit het Leeuwenspel weergegeven. Uit onderzoek is gebleken dat de validiteit en betrouwbaarheid van het Leeuwenspel goed zijn voor leerlingen in het primair onderwijs ( $\alpha = .86$ ; Van de Weijer-Bergsma, et al., 2015).

Het Leeuwenspel is een product van de Universiteit van Utrecht en wordt gedraaid op aparte software. In overleg met de ethische commissie is het gebruik van het Leeuwenspel conform een Limited License Agreement (LLA) tussen de Universiteit van Utrecht en de Open Universiteit uitgevoerd. In dit LLA is overeengekomen dat de verzamelde data van het Leeuwenspel wordt opgeslagen op beveiligde servers van de Universiteit van Utrecht. Doordat er gebruik wordt gemaakt van participantencodes, worden er in het Leeuwenspel geen persoonsgegevens verzameld of uitgewisseld met de Universiteit van Utrecht.

### **Figuur 4**

*Screenshot uit het Leeuwenspel* (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Prast, & Van Luit, 2014; Universiteit Utrecht)



*Notitie.* In de figuur wordt getoond hoe een afbeelding van een blauwe leeuw gedurende twee

seconden wordt getoond. De leerling moet de laatste plek onthouden waar de blauwe leeuw is getoond.

**Apenspel.** Met het Apenspel (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Jolani, & Van Luit, 2015; Universiteit van Utrecht) wordt omvang en updaten gemeten van het verbaal werkgeheugen. De leerlingen krijgen een reeks Nederlands gesproken woorden te horen (bijv. maan, vis, roos). Nadat de reeks is geëindigd, moeten de woorden achterwaarts herhaald worden door geschreven woorden in een 3 x 3 matrix aan te klikken. In Figuur 5 staat een screenshot van antwoordopties uit het Apenspel. De taak bestaat uit vijf levels, waarbij het werkgeheugen wordt gemanipuleerd door het aantal woorden die onthouden en geüpdatet (achterwaarts herhalen) moeten worden. Het aantal items dat in de juiste volgorde wordt gegeven, bepaalt de score op de test (score 0-60). Uit onderzoek is gebleken dat de validiteit en betrouwbaarheid van het Apenspel goed zijn voor leerlingen in het primair onderwijs ( $\alpha = .89$ ; Van de Weijer-Bergsma et al., 2015).

Het Apenspel is, net als het Leeuwenspel, een product van de Universiteit van Utrecht. In overleg met de ethische commissie is het gebruik van het Apenspel conform een Limited License Agreement (LLA) tussen de Universiteit van Utrecht en de Open Universiteit vastgelegd. In het LLA is overeengekomen dat de verzamelde data van het Apenspel wordt opgeslagen op beveiligde servers van de Universiteit van Utrecht. Doordat het binnen de software mogelijk is het Leeuwenspel en het Apenspel na elkaar te plannen, hoeven leerlingen voorafgaand aan het Apenspel niet opnieuw de participantencode in te voeren. Hierdoor worden er met het Apenspel geen persoonsgegevens verzameld of uitgewisseld met de Universiteit van Utrecht.

### Figuur 5

*Screenshot uit het Apenspel* (Van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Prast, & Van Luit, 2014; Universiteit Utrecht)



*Notitie.* In de figuur worden negen geschreven woorden getoond, die vervolgens aangeklikt worden om de reeks gesproken woorden achterwaarts te herhalen.

### **Toetsresultaten**

**Rekentoets.** Er zijn twee versies (A en B) van de rekentoets ontwikkeld waarin, met toestemming van Cito en Malmberg, toetsopgaven zijn opgenomen uit het Cito Leerlingvolgsysteem Rekenen-Wiskunde M7 (Cito, 2008) en uit toetsboek 7 van de rekenmethode Wereld in Getallen (Van Grootheest, Huitema, & De Jong, 2008). Aanvankelijk is gekeken of het mogelijk was om ieder toetsitem (aangepast en niet-aangepast) *at random* aan de leerlingen toe te wijzen. Helaas was dit binnen het tijdsbestek van de masterthesis niet mogelijk in Limesurvey. Daarom is ervoor gekozen om twee toetsversies te ontwerpen, waarbij leerlingen *at random* aan een toetsversie werden toegewezen. De toetsresultaten worden bepaald door het aantal goede antwoorden op de toetsitems. Beide toetsversies bestaan uit 20 items, waarvan 10 items zijn aangepast (experimentele conditie) en 10 items niet-aangepast (controle conditie). Van de 10 aangepaste items zijn vijf items aangepast volgens *redundancy* (Bijlage A) en vijf items volgens *split-attention* (Bijlage B). In Tabel 1 is te zien hoe de vier condities over versie A en B zijn verdeeld en hoe de items in chronologische volgorde (van item 1 tot en met 20) worden aangeboden. De ruwe scores uit de toets worden gecodeerd in goed (1) en fout (0).

**Tabel 1**

*Verdeling Experimentele en Controle Items over Toetsversie A en B in Chronologische Volgorde*

Toetsversie A	RA01; RO02; SA03; SO04; SA05; SO06; RA07; RO08; RA09; RO10; SA11; RO12; SA13; SO14; RA15; RO16; SA17; SO18; RA19; SO20
Toetsversie B	RO01; RA02; SO03; SA04; SO05; SA06; RO07; RA08; RO09; RA10; SO11; RA12; SO13; SA14; RO15; RA16; SO17; SA18; RO19 SA20

*Notitie.* RA = *redundancy*-aangepast; RO = *redundancy*-niet aangepast; SA = *split-attention*-aangepast; SO = *split-attention*-niet aangepast

Bij het *redundancy*-principe wordt gekeken naar relevante en niet-relevante (redundante) informatie. Zoals te zien in Figuur 6 wordt bij het aangepaste item de redundante informatie verwijderd. Op de linker afbeelding wordt in de afbeelding en in de tekst informatie gepresenteerd over de kosten van het bezoek en de dozen pillen. Daarnaast wordt in de afbeelding op de achtergrond een dierenarts gepresenteerd. Op de rechter afbeelding is de redundante informatie over de kosten uit de tekst verwijderd en is de dierenarts uit de afbeelding verwijderd.

## Figuur 6

*Voorbeeld Toetsitem over Redundancy met Links het Niet-aangepaste Toetsitem en Rechts het Aangepaste Toetsitem*



BEZOEK DIERENARTS

KAT	€ 22,25
HOND	€ 25
KONIJN	€ 15

€ 8,45  
€ 7,75

Demi gaat met haar kat naar de dierenarts. Het bezoek kost €22,25. Ze koopt ook nog een doos met pillen van €8,45 en een doos met pillen van €7,75. Hoeveel moet Demi betalen?



BEZOEK DIERENARTS

KAT	€ 22,25
HOND	€ 25
KONIJN	€ 15

€ 8,45  
€ 7,75

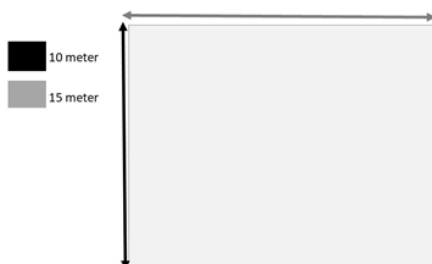
Demi gaat met haar kat naar de dierenarts. Op het bord staat hoeveel het bezoek kost. Demi koopt ook bovenstaande twee dozen met pillen. Hoeveel moet Demi betalen?

Bij het *split-attention*-principe wordt informatie constant gehouden en ruimtelijk geïntegreerd aangeboden, waardoor er geen aandacht besteed hoeft te worden aan het zoeken naar informatie verspreid over verschillende bronnen. Zoals te zien in Figuur 7 wordt in de linker afbeelding informatie verspreid aangeboden in verschillende bronnen: afbeelding grasveld, legenda, tekst met vraagstelling). In de rechter afbeelding is de informatie geïntegreerd en wordt in volgorde van belang weergegeven (vraagstelling, afbeelding van het grasveld met daarin de afmetingen).

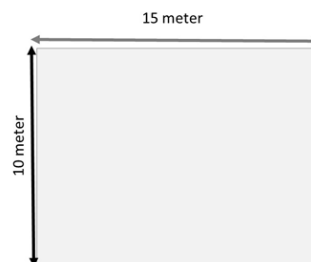
## Figuur 7

*Voorbeeld Toetsitem over Split-attention met Links het Niet-aangepaste Toetsitem en Rechts het Aangepaste Toetsitem*

Hoe groot is de oppervlakte van het grasveld hieronder?



Hoe groot is de oppervlakte van het grasveld hieronder?



## Cognitieve Belasting

**Mental Effort Rating Scale.** Om vast te stellen hoe leerlingen de cognitieve belasting per item uit de rekentoets ervaren, wordt de *Mental Effort Rating Scale* gebruikt (Paas, 1992). Zoals te zien in

Figuur 8, wordt na ieder item door de leerlingen de ervaren cognitieve belasting aangegeven op een 9-punts Likertschaal, die loopt van ‘zeer zeer weinig moeite’ tot ‘zeer zeer veel moeite’.

## Figuur 8

*Screenshot van de Mental Effort Rating Scale (Paas, 1992)*

\* Hoeveel moeite kostte het om de rekensom zojuist te maken?  
Kies een antwoord

	zeer zeer weinig moeite	zeer weinig moeite	weinig moeite	tamelijk weinig moeite	niet weinig, maar ook niet veel moeite	tamelijk veel moeite	veel moeite	zeer veel moeite	zeer zeer veel moeite
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*Notitie.* Tijdens de rekentoets wordt na ieder rekenitem de ervaren cognitieve belasting aangegeven.

## Procedure

Voor dit onderzoek is toestemming verleend door de ethische commissie van de Open Universiteit (cETO; met als kenmerk: U2019/03601/HVM). Directies van zes reguliere basisscholen uit het netwerk van de onderzoekers zijn benaderd en hebben vervolgens interesse getoond in deelname aan het onderzoek. Aan de groepsleerkrachten van groep 7 (leerjaar 5) en de directies is het doel en opzet van het onderzoek persoonlijk uitgelegd door een van de onderzoekers. Nadat de directies schriftelijk toestemming hadden gegeven, ontvingen de ouders/verzorgers van de leerlingen via de groepsleerkracht een informatiebrief over het onderzoek. In deze informatiebrief is het doel van het onderzoek aan ouders/verzorgers en de leerlingen uitgelegd en dat deelname geheel vrijwillig was en ten alle tijden kon worden beëindigd zonder opgave van reden. Indien ouders bezwaar hadden tegen deelname aan het onderzoek, was er de mogelijkheid om dit te allen tijde kenbaar te maken bij de onderzoekers. De onderzoeken zijn uitgevoerd in de periode van week 21 tot en met week 25 van 2019 en werden afgenomen tijdens een reguliere rekenles. De uitkomsten van dit onderzoek hadden geen invloed op de beoordelingen van schoolprestaties van de participanten.

Voorafgaand aan het onderzoek, werd de toetsruimte voorbereid door alle werkplekken frontaal en los van elkaar te plaatsen. Iedere werkplek was voorzien van een laptop, hoofdtelefoon, computermuis en deelnemerspas. Leerlingen waarvan de ouders/verzorgers toestemming voor deelname aan het onderzoek hebben geweigerd en leerlingen die uitgesloten waren van het onderzoek, kregen een vervangende opdracht van de leerkracht in een andere ruimte. Bij binnenkomst namen de leerlingen plaats achter een willekeurige werkplek en kregen uitleg van een van de onderzoekers. Op iedere laptop was een deelnemerspas bevestigd met daarop de participantencode. Deze participantencode werd gebruikt om de persoonsgegevens te versleutelen en om de gegevens van de werkgeheugentaken

(opgeslagen op de servers van de Universiteit van Utrecht) te kunnen koppelen aan de rekentaken in de online toetsomgeving LimeSurvey (opgeslagen op de servers van de Open Universiteit). Personen die toegang hebben tot de niet-versleutelde informatie zijn de onderzoekers en hoofdonderzoeker. De gegevens van de werkgeheugentaken worden daarnaast anoniem gedeeld met de ontwikkelaar van de test en worden uitsluitend gebruikt voor het verbeteren van de taken en het ontwikkelen van normgegevens. Op iedere laptop stond de digitale testomgeving klaar, bestaande uit een link naar de werkgeheugentaken en een link naar LimeSurvey voor de overige taken. Door de onderzoeker is de opzet van het onderzoek uitgelegd, hoelang het onderzoek zal duren, welke materialen er gebruikt mochten worden en wat leerlingen mochten doen als ze voortijdig een taak hadden afgerond. Hiervoor werd een standaard instructietekst gebruikt. Vervolgens startten de leerlingen met het onderzoek door de participantencode over te nemen van de deelnemerspas. Hierna volgden zij de digitale instructie van het Leeuwenspel en maakten de taken. Na het afronden van het Leeuwenspel volgde direct de digitale instructie van het Apenspel, waarna ze deze taak gingen maken. Leerlingen maakten de werkgeheugentaken, waarbij de tijdslimiet was ingebouwd in de software. De benodigde tijd is verder niet meegenomen als factor binnen dit onderzoek. Om alle leerlingen gelijktijdig instructie te geven over de toetsomgeving in LimeSurvey, is ervoor gekozen om leerlingen die eerder klaar waren met de werkgeheugentaken te laten lezen. Er werd niet bijgehouden welke leerlingen tussentijds gingen stillezen en voor hoe lang. Vervolgens kregen de leerlingen instructie van de onderzoeker over de toetsomgeving in LimeSurvey. Eerst werd opnieuw de participantencode ingevoerd en enkele demografische gegevens (leeftijd en geslacht) ingevuld. Vervolgens werden twee voorbeelditems gemaakt, waarna de leerlingen zelfstandig de rekentoets gingen maken. Hierbij werden geen hulpmiddelen gebruikt. Zodra de rekentoets was afgerond, vulden zij de *Math self-efficacy* vragenlijst in. Zodra leerlingen alle taken hadden afgerond, gingen zij opnieuw lezen totdat iedereen klaar was. Ieder afnamemoment duurde circa 60 minuten. Na afloop van het onderzoek zijn de leerlingen in de gelegenheid gesteld vragen te stellen over de items uit de rekentoets en konden hierop feedback ontvangen. Tot slot werden de leerlingen bedankt voor hun deelname met een kleine attentie (klaparmbandje). Na circa tien maanden worden de ouders/ verzorgers van leerlingen die hebben deelgenomen aan dit onderzoek geïnformeerd over de resultaten van het onderzoek in een informatiebrief.

### **Data-analyse**

Voor de werkgeheugentaken zijn de *mean proportion correct scores* berekend en voor de rekentoets zijn gemiddelden berekend voor de aangepaste en niet-aangepaste items, waarna deze gegevens samen met de ongewijzigde scores van de *Mental Effort Rating Scale* zijn samengevoegd tot een SPSS-databestand. Van drie participanten bevatte de data *missing values* en van zeven participanten zijn met



Wisker's plots extreme outliers geconstateerd, waarna deze data uit vervolganalyses zijn verwijderd. Vier rekenitems met een hoge moeilijkheidsgraad ( $p$ -waarde  $< .30$ ; Hop, Janssen & Engelen, 2017) zijn geanalyseerd op statistisch en conceptueel niveau. Bij drie items werd in de vraagstelling een schatting gevraagd (toetsitems 12, 13 en 20) waarbij slechts één antwoord was opgenomen in de antwoordmatrix. Hierop volgend is de antwoordmatrix voor de betreffende items aangepast, waardoor de moeilijkheidsgraad veranderde ( $p$ -waarde  $> .30$ ). Het vierde item (toetsitem 5) bleek na analyse een te moeilijke vraag. Correlatiematrixen met (Tabel 3) en zonder deze items (Bijlage C) zijn vergeleken, waarna geen significant verschil werd gevonden. Hierdoor is besloten de vier items mee te nemen in vervolganalyses (zie verder Bolks (2020) en Geneugelijk (2020)).

Demografische gegevens (geslacht en leeftijd) zijn opgevraagd op groepsniveau bij de leerkracht en gemiddelden en standaarddeviaties zijn berekend voor de uitkomstvariabelen, waarna met een *repeated measures* ANOVA deze gemiddelden zijn vergeleken op significantie ( $p \leq .05$ ). Vervolgens is onderzocht of er tussen de uitkomstvariabelen significante correlaties waren. Om te onderzoeken of de ruimtelijk-visuele en verbale werkgeheugencapaciteit een modererend effect hebben op toetsresultaten en cognitieve belasting zijn per toetsontwerp moderatie-analyses uitgevoerd, gebruik makend van de MEMORE *add-on* voor SPSS (Montoya & Hayes, 2017). Hiermee is het gecombineerde effect van het toetsontwerp en werkgeheugencapaciteit op toetsresultaten en cognitieve belasting berekend.

## Resultaten

Alle onderstaande bevindingen zijn gebaseerd op een steekproef van 96 participanten ( $M = 10.65$ ,  $SD = 0.60$ ), na het uitsluiten van 10 participanten (zie data-analyse).

### Pre-analyse

Om de resultaten van dit onderzoek beter te kunnen interpreteren zijn enkele pre-analyses uitgevoerd. De beschrijvende statistieken van de uitkomstvariabelen zijn opgevraagd en worden gepresenteerd in Tabel 2. Daarnaast zijn de hoofdeffecten getest met een *repeated measures* ANOVA, waarbij de uitkomsten geen significant verschil in toetsresultaten laten zien tussen het aangepaste en niet aangepaste *redundancy* toetsontwerp,  $F(1, 95) = 1.17$ ,  $p = .283$  en tussen het aangepaste en niet aangepaste *split-attention* toetsontwerp,  $F(1, 95) = .29$ ,  $p = .593$ . Ook voor cognitieve belasting is er geen significant verschil gevonden tussen de *redundancy* toetsontwerpen,  $F(1, 95) = .46$ ,  $p = .499$  en de *split-attention* toetsontwerpen,  $F(1, 95) = .14$ ,  $p = .709$ . De gedetailleerde analyses maken deel uit van de mastertheses van Bolks (2020) en Geneugelijk (2020). Hieruit kan worden geconcludeerd dat er na aanpassing van het toetsontwerp geen hoofdeffecten zijn gevonden op toetsresultaten en cognitieve belasting.

**Tabel 2***Gemiddelden, Standaarddeviaties en F-scores voor de Uitkomstvariabelen*

	Totaal	Aangepast	Niet-aangepast	<i>Repeated measures</i>	
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Werkgeheugencapaciteit (max. = 1)		-	-		
Ruimtelijk-visueel	.77 (.13)				
Verbaal	.62 (.11)				
Toetsresultaten (max. = 1)					
Redundancy	.57 (.24)	.55 (.28)	.59 (.28)	1.17	.283
Split-attention	.50 (.18)	.51 (.23)	.49 (.22)	.29	.593
Cognitieve belasting (max. = 9)					
Redundancy	3.86 (1.62)	3.82 (1.67)	3.89 (1.73)	.46	.499
Split-attention	3.53 (1.63)	3.79 (1.46)	3.77 (1.49)	.14	.709

*Notitie.*  $N = 96$ 

Correlaties tussen de uitkomstvariabelen van dit onderzoek worden gepresenteerd in Tabel 3. Met betrekking tot werkgeheugencapaciteit is te zien dat er sprake is van een significante, kleine positieve samenhang tussen ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit en verbale werkgeheugencapaciteit ( $r(95) = .25, p < .05$ ), wat betekent dat een hoge ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit samenhangt met een hoge verbale werkgeheugencapaciteit. Daarnaast is er een significante, kleine positieve samenhang gevonden tussen verbale werkgeheugencapaciteit en toetsresultaten in een *redundancy* niet-aangepast toetsontwerp,  $r(95) = .26, p < .05$ . Dit betekent dat een hoge score op verbale werkgeheugencapaciteit samenhangt met een hoge score op toetsresultaten in een *redundancy* niet-aangepast toetsontwerp. Verder is er geen significante samenhang gevonden tussen werkgeheugencapaciteit en toetsresultaat of cognitieve belasting (alle  $p$ 's  $> .05$ ).

Met betrekking tot toetsresultaten is te zien dat de aangepaste en niet aangepaste toetsontwerpen onderling een significante, kleine positieve samenhang laten zien (alle  $p$ 's  $< .01$ ). Als er bijvoorbeeld een hoog toetsresultaat wordt behaald op items uit het *redundancy* aangepaste toetsontwerp, dan hangt dit samen met een hoge score op items uit het *split attention* aangepaste ontwerp ( $r(95) = .46, p < .01$ ). De aangepaste en niet-aangepaste toetsontwerpen laten allemaal een significante, kleine tot gemiddelde negatieve samenhang zien met cognitieve belasting, wat betekent dat als het toetsresultaat omhooggaat, de score op cognitieve belasting omlaag gaat (alle  $p$ 's  $< .01$ ).

Tot slot is er bij cognitieve belasting sprake van een significante onderlinge samenhang (alle  $p$ 's  $< .01$ ), waarbij sprake is van een gemiddelde tot sterke samenhang. Dit betekent dat een lage cognitieve

belasting in een bepaald toetsontwerp, samenhangt met een lage cognitieve belasting in een van de andere toetsontwerpen.

**Tabel 3**

*Correlaties tussen de Gebruikte Variabelen van dit Onderzoek*

		Correlatie									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Werkgeheugencapaciteit											
1	Ruimtelijk-visueel										
2	Verbaal	.245*									
Toetsresultaten											
3	Redundancy aangepast	-.016	.098								
4	Redundancy niet aangepast	.078	.255*	.455**							
5	Split aangepast	1.49	.056	.456**	.407**						
6	Split niet-aangepast	.114	-.081	.414**	.346**	.373**					
Cognitieve belasting											
7	Redundancy aangepast	-.011	-.085	-.547**	-.306**	-.267**	-.158				
8	Redundancy niet-aangepast	-.101	-.100	-.467**	-.600**	-.375**	-.271**	.775**			
9	Split aangepast	-.127	-.103	-.471**	-.360**	-.423**	-.286**	.727**	.740**		
10	Split niet-aangepast	.002	.051	-.438**	-.289**	-.259**	-.378**	.717**	.674**	.718**	

*Notitie.*  $N = 96$

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$

## Toetsresultaten

De eerste hypothese van het onderzoek is dat het effect van het toetsontwerp op toetsresultaten gemodereerd wordt door werkgeheugencapaciteit. Hierbij wordt verwacht dat het modererende effect van werkgeheugencapaciteit op toetsresultaten afneemt als het toetsontwerp is aangepast volgens CTML-ontwerpprincipes (*redundancy* en *split-attention*). De statistieken van de moderatie-analyses die deze hypothese testten zijn weergegeven in Tabel 4. Uit deze analyses blijkt dat er geen significante interacties zijn gevonden tussen werkgeheugencapaciteit (verbaal en ruimtelijk-visueel) en toetsontwerp (condities *redundancy* en *split-attention*) (alle  $p$ 's  $> .05$ ). Er is hier dus geen sprake van een modererend effect van werkgeheugencapaciteit op de relatie tussen toetsontwerp en toetsresultaten. Dit betekent dat verschillen in werkgeheugencapaciteit tussen leerlingen niet van invloed zijn geweest op de effecten van het aangepaste of niet-aangepaste toetsontwerp op toetsresultaten.

**Tabel 4**

*Lineair Model met Hoofd- en Conditie-effecten van Werkgeheugencapaciteit als Moderator van Toetsresultaten (df = 94)*

	<i>b</i>	<i>SE B</i>	<i>BI</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>R-sq</i>
Ruimtelijk-visuele WMC						
RA en RO	-.01	.23	[-.46, .45]	-.02	.980	.00
RA	.10	.22	[-.34, .55]	.45	.651	.05
RO	.11	.23	[-.35, .56]	.47	.639	.05
SA en SO						
SA	.31	.18	[-.05, .67]	1.72	.090	.17
SO	.22	.18	[-.14, .57]	1.21	.229	.12
Verbale WMC						
RA en RO	-.24	.27	[-.78, .30]	-.88	.381	.09
RA	.34	.26	[-.19, .86]	1.27	.208	.13
RO	.57	.27	[.05, 1.10]	2.16	.033	.22
SA en SO						
SA	.05	.22	[-.38, .49]	.23	.817	.02
SO	-.13	.21	[-.56, .29]	-.61	.540	.06

*Notitie.* WMC = werkgeheugencapaciteit; RA = *redundancy* aangepast; RO = *redundancy* niet-aangepast; SA = *split-attention* aangepast; SO = *split-attention* niet-aangepast. Significantiewaarde  $p < .05$ .

### Cognitieve Belasting

De tweede hypothese veronderstelt dat het effect van het toetsontwerp op de ervaren cognitieve belasting wordt gemodereerd door werkgeheugencapaciteit. Hierbij wordt verwacht dat het modererende effect van werkgeheugencapaciteit op cognitieve belasting afneemt als het toetsontwerp is ontworpen volgens de CTML-ontwerpprincipes *redundancy* en *split-attention*. De statistieken van alle analyses die deze tweede hypothese testten zijn weergegeven in Tabel 5. Hierin is te zien er geen significante moderatie-effecten van werkgeheugencapaciteit zijn gevonden, behalve tussen ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit en het *split-attention* toetsontwerp ( $F(1, 94) = 4.08, p = .046$ ). Dit moderatie-effect is grafisch weergegeven in Figuur 10. Er zijn dus geen verschillen in cognitieve belasting gevonden tussen leerlingen met hoge versus lage werkgeheugencapaciteit voor aangepaste en niet aangepaste toetsitems, maar er is wel sprake van een interactie waarbij leerlingen met een lage

werkgeheugencapaciteit lage cognitieve belasting ervaren bij de niet aangepaste toetsitems vergeleken met de leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit ( $b = -.18$ , 95% CI [-2.52, -2.16],  $t(94) = -.15$ ,  $p = .880$ ), terwijl voor de aangepaste toetsitems de ervaren cognitieve belasting hoger is voor leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit ten opzichte van leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit ( $b = .56$ , 95% CI [-1.82, -2.95],  $t(94) = -.47$ ,  $p = .641$ ). De verwachting was dat leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit zouden profiteren van het aangepaste ontwerp, maar de resultaten tonen in deze specifieke situatie juist het tegengestelde. Leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit profiteerden juist niet van de aanpassingen in het ontwerp.

Uit bovenstaande analyse kan geconcludeerd worden dat verschillen in werkgeheugencapaciteit nauwelijks van invloed zijn geweest op de effecten van het aangepaste of niet-aangepaste ontwerp. In de specifieke situatie waarin wel een modererend effect werd gevonden van ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit op cognitieve belasting in het *split-attention* aangepaste toetsontwerp, bleek dit juist nadelig te zijn voor leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit.

**Tabel 5**

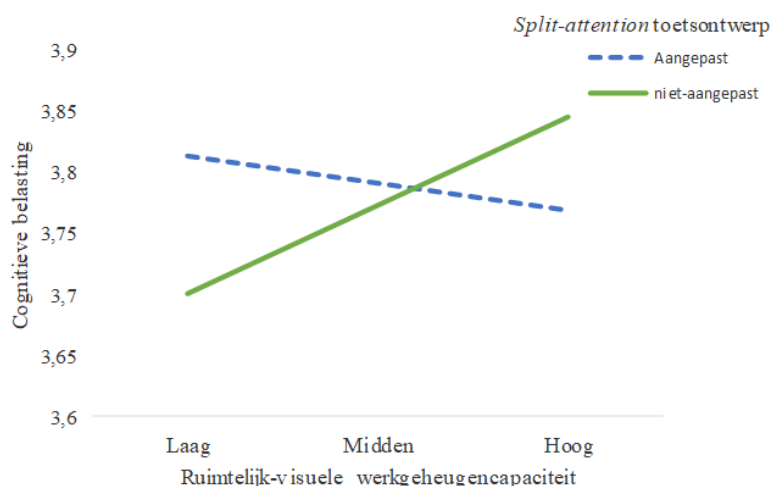
*Lineair Model met Hoofd- en Conditie-effecten van Werkgeheugencapaciteit als Moderator van Cognitieve Belasting (df = 94)*

	<i>b</i>	<i>SE B</i>	<i>BI</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>R-sq</i>
Ruimtelijk-visuele WMC						
RA en RO	.92	.85	[-.76, 2.60]	1.08	.282	.11
RA	.03	1.35	[-2.66, 2.71]	.02	.984	.00
RO	-.89	1.40	[-3.66, 1.87]	-.64	.527	.07
SA en SO	-.74	.37	[-1.47, -.01]	-2.02	.046	.20
SA	-.18	1.18	[-2.52, 2.16]	-.15	.880	.02
SO	.56	1.20	[-1.82, 2.95]	.47	.641	.05
Verbale WMC						
RA en RO	.50	1.01	[-1.51, 2.51]	.49	.623	.05
RA	1.00	1.60	[-4.18, 2.19]	-.62	.536	.06
RO	-1.50	1.66	[-4.79, 1.80]	-.90	.370	.09
SA en SO	-.57	.44	[-1.45, .30]	-1.30	.198	.13
SA	-.44	1.40	[-3.23, 2.34]	-.32	.752	.03
SO	.13	1.43	[-2.72, 2.97]	.09	.929	.01

*Notitie.* WMC = werkgeheugencapaciteit; RA = redundancy aangepast; RO = redundancy niet-aangepast; SA = split-attention aangepast; SO = split-attention niet-aangepast  
Significantiewaarde  $p < .05$ .

**Figuur 10**

*Simple Slopes Analyse van Ruimtelijk-visuele Werkgeheugencapaciteit op Cognitieve Belasting in een Split-attention Toetsontwerp*



## Conclusie en Discussie

Dit onderzoek maakt deel uit van een thesiskring, waarin onderzoek is gedaan naar het aanpassen van een multimediale toets volgens de CTML-ontwerpprincipes *redundancy* (Bolks, 2020) en *split-attention* (Geneugelijk, 2020). Huidige thesis heeft voortgebouwd op het onderzoek van Bolks (2020) en Geneugelijk (2020) door exploratief te onderzoeken of werkgeheugencapaciteit een mogelijke moderator is in het effect van het toetsontwerp op toetsresultaten en op cognitieve belasting binnen een CBT-omgeving. In de onderzoeken van Bolks (2020) en Geneugelijk (2020) werden geen significante resultaten gevonden van aanpassingen in het ontwerp op toetsresultaten en cognitieve belasting. In dit onderzoek wilden we kijken of dit verklaard kon worden door een modererend effect van werkgeheugencapaciteit.

## Conclusie

Op basis van de theorie over multimediaal leren werd verondersteld dat het effect van werkgeheugencapaciteit op toetsresultaten en cognitieve belasting af zou nemen als het toetsontwerp is aangepast volgens de CTML-ontwerpprincipes *redundancy* en *split-attention*. In tegenstelling tot de verwachting laten de resultaten zien dat verschillen in werkgeheugencapaciteit het effect van

aanpassingen in een rekentoets op toetsresultaten niet heeft beïnvloed. Daarnaast is gebleken dat verschillen in werkgeheugencapaciteit geen invloed heeft gehad op het effect van het toetsontwerp op de ervaren cognitieve belasting, behalve bij de ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit in de *split-attention* conditie. Het blijkt niet eenvoudig om bij multimediale toetsen en multimediaal leermateriaal dezelfde effecten te vinden. Dit lijkt te bevestigen dat er een aparte theorie voor multimediaal toetsen moet komen (Kirschner et al., 2016). Zoals uit de discussie zal blijken is meer onderzoek nodig om het mogelijke modererende effect van werkgeheugencapaciteit verder te onderzoeken.

## Discussie

In huidig onderzoek is slechts één klein moderatie-effect gevonden, waarbij de ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit een modererend effect heeft gehad op de cognitieve belasting in het *split-attention* toetsontwerp. In deze specifieke conditie ervoeren leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit de minste cognitieve belasting in het gesplitte toetsontwerp, terwijl leerlingen met een hoge werkgeheugencapaciteit minder cognitieve belasting ervoeren in het geïntegreerde toetsontwerp. Deze effecten zijn tegengesteld aan de verwachting, omdat vanuit de literatuur naar multimediaal leren juist verwacht werd dat leerlingen met een lage werkgeheugencapaciteit zouden profiteren van aanpassingen in het toetsontwerp volgens CTML-principes.

Een soortgelijk onverwachts effect werd ook gevonden in onderzoek van Jarodzka et al. (2015), waarbij het CTML-ontwerpprincipes *split-attention* werd toegepast in een CBT-omgeving. In dit onderzoek was de verwachting dat een geïntegreerd toetsontwerp zou leiden tot efficiëntere prestaties, maar ook hier bleek sprake van een omgekeerd effect: Leerlingen werkten juist efficiënter in het gesplitte format. Naast omgekeerde effecten, zijn er ook resultaten bekend over het uitblijven van effecten door het toepassen van CTML-ontwerpprincipes. Zo deed Aalpoel (2020) onderzoek naar *seductive details*. In dit onderzoek kregen leerlingen uit het primair onderwijs (groep 7) een rekentoets aangeboden waarin de helft van de toetsitems *seductive details* bevatten en de andere helft niet. Net als in het onderzoek van Bolks (2020) en Geneugelijk (2020) werd geen verschil gevonden tussen toetsitems die wel en niet waren aangepast. De bevindingen uit huidig onderzoek en de onderzoeken van Bolks (2020), Geneugelijk (2020) en Aalpoel (2020) lijken allemaal aan te sluiten bij de conclusies uit het onderzoek van Jarodzka et al. (2015), waarin zij stelden dat hetgeen bekend is over digitale leermiddelen niet zonder meer toegepast kan worden binnen CBT.

Verklaringen hiervoor liggen mogelijk in de verschillen tussen leren en toetsen en wat dit betekent voor de werkgeheugenbelasting. Zowel bij leren als bij toetsen wordt informatie cognitief verwerkt, maar in beide situaties verlopen deze processen heel verschillend. In leersituaties moeten leerlingen vlot en zonder cognitieve overbelasting informatie selecteren, verwerken en integreren met bestaande voorkennis (Van Merriënboer & Kirschner, 2012). Echter, bij toetsen moeten leerlingen bestaande

kennis en vaardigheden reproduceren of toepassen (Beddow, 2018). Doordat deze cognitieve processen van elkaar verschillen zal naar verwachting ook de werkgeheugenbelasting in beide situaties anders zijn, bijvoorbeeld doordat de hoeveelheid informatie die tijdens een toets verwerkt moet worden doorgaans minder is dan in leermateriaal. Daarom zou verondersteld kunnen worden dat de werkgeheugenbelasting tijdens toetsen lager is dan tijdens leren (Beddow, 2018). Om dit te bevestigen is vervolgonderzoek nodig. In huidig onderzoek bestond de hoeveelheid informatie in de toetsitems uit maximaal vier zinnen en een afbeelding. Hierdoor moesten leerlingen relatief weinig elementen met informatie verwerken, waardoor verwacht kan worden dat het werkgeheugen hierdoor weinig werd belast. Dit zou kunnen verklaren waarom leerlingen gemiddeld aangaven ‘weinig moeite’ tot ‘tamelijk weinig moeite’ te hebben met de toetsitems.

Een andere verklaring hiervoor kan zijn dat leerlingen over de juiste voorkennis beschikten, waardoor zij de toets als weinig belastend hebben ervaren. Tijdens toetsing wordt namelijk verondersteld dat leerlingen beschikken over de benodigde kennis en vaardigheden (voorkennis) die nodig zijn om de toets goed te kunnen maken. Doordat deze voorkennis als één element uit het langetermijngeheugen teruggeplaatst kan worden in het werkgeheugen, vraagt dit proces weinig werkgeheugencapaciteit (Van Merriënboer & Sweller, 2005). Daarnaast is vanuit de CLT (Sweller, 2011) bekend dat het voorkennisniveau van een leerling de complexiteit van het materiaal bepaald (Mayer, 2014). Hierdoor kan verondersteld worden dat tijdens toetsing de intrinsieke belasting laag blijft, waardoor de beschikbare werkgeheugencapaciteit besteed kan worden aan intrinsieke en relevante belasting (Sweller et al., 2019). Hierdoor zullen leerlingen meer werkgeheugencapaciteit kunnen besteden aan het oplossen van de toetsitems. Verschillen in werkgeheugencapaciteit tussen leerlingen zijn hierdoor mogelijk minder van belang, wat zou kunnen verklaren dat er (nagenoeg) geen modererende effecten van werkgeheugencapaciteit op toetsresultaten en cognitieve belasting zijn gevonden.

Naast voorkennis blijkt uit de literatuur dat het ook interessant is om te kijken welk leermateriaal er is aangeboden. Zo is uit onderzoek van Lindner, Eitel, Barenthien en Köller (2018) bekend dat als afbeeldingen die worden aangeboden tijdens het leerproces overeenkomen met afbeeldingen uit de toets, het ophalen van informatie uit het langetermijngeheugen wordt bevorderd. Doordat leerlingen verbanden leggen tussen de inhoud uit de tekst en uit afbeeldingen van het leermateriaal, wordt de kans op het succesvol ophalen van deze kennis vergroot (Lindner et al., 2018). In huidig onderzoek hebben we ons uitsluitend gericht op de toets. In deze toets is gebruik gemaakt van toetsitems uit een methode-onafhankelijke rekentoets (Cito, 2008). Hierdoor kan ervan uit gegaan worden dat de afbeeldingen en tekst niet overeenkomen met het leermateriaal, waardoor leerlingen uit dit onderzoek dus niet hebben kunnen profiteren van overeenkomsten tussen het leermateriaal en de toets. Hierdoor kan verwacht worden dat zij tijdens een methode-onafhankelijke toets meer werkgeheugencapaciteit



gebruiken om verbanden te leggen tussen het toetsmateriaal en de eigen voorkennis, waardoor zij ook meer cognitieve belasting zouden ervaren.

Dit sluit echter niet aan bij de resultaten uit huidig onderzoek, waarin leerlingen gemiddeld aangaven ‘weinig moeite’ tot ‘tamelijk weinig moeite’ te hebben ervaren. Uit analyses, waarin per toetsitem naar de gemiddelde cognitieve belasting is gekeken, bleek dat er weinig verschil in cognitieve belasting werd ervaren tussen de aangepaste en niet-aangepaste items. Dit kan betekenen dat, net als in onderzoek van Jarodzka et al. (2015), leerlingen daadwerkelijk geen verschil in cognitieve belasting tussen de toetsitems ervoeren. Het is ook mogelijk dat het uitblijven van grotere onderlinge verschillen voortkomt uit de wijze waarop de cognitieve belasting is gemeten. In huidig onderzoek is een subjectieve beoordelingsschaal gebruik, waarbij leerlingen de cognitieve belasting op een 9-punts Likertschaal moesten aangeven. Hierbij konden ze de mate van cognitieve belasting aangeven, maar kon er geen onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende soorten cognitieve belasting, (Sweller et al., 2019). Bij het gebruik van Likert-schaaltechnieken wordt ervan uitgegaan dat de leerling in staat is de eigen cognitieve processen te onderzoeken en te beoordelen (Paas et al., 2003). De scores op cognitieve belasting doen vermoeden dat de leerlingen uit dit onderzoek (nog) niet goed in staat waren om hun eigen cognitieve belasting goed te beoordelen (Paas, Tuovinen, Tabbers, & Van Gerven, 2003). Mogelijk waren zij te jong of hadden zij onvoldoende ervaring met subjectieve beoordelingsschalen. Voor vervolgonderzoek onder jonge participanten kan het daarom zinvol zijn om naast een subjectieve beoordelingsschaal een objectieve beoordelingsschaal te gebruiken, zoals *eye-tracking* (Elliot et al., 2018; Korbach et al., 2018). Zo kunnen onverwachte bevindingen, zoals in huidig onderzoek, beter geanalyseerd en verklaard worden. In het eerdergenoemde onderzoek van Jarodzka et al. (2015) werd ook *eye-tracking* toegepast. Zo analyseerden de onderzoekers dat participanten in een gesplit toetsontwerp de meeste tijd besteedden aan het vraag-antwoord gebied. Daarnaast zagen zij verschillen in (visuele) strategieën voor het bekijken van aanvullende informatie uit het toetsitem. Een deel van de studenten besteedde veel aandacht aan het integreren van verschillende elementen, terwijl een ander deel veel minder aandacht had voor integratie en aanvullende informatie negeerde. Verschillen in strategieën lijken dus te leiden tot verschillen in de mate waarin ruimtelijk-visuele werkgeheugencapaciteit wordt ingezet. Voor vervolgonderzoek is het zinvol te onderzoeken of basisschoolleerlingen eveneens verschillende strategieën toepassen, zodat verschillen in cognitieve belasting beter verklaard kunnen worden.

## **Beperkingen van Huidig Onderzoek en Aanbevelingen voor de Praktijk**

Huidig onderzoek kent een aantal beperkingen. De eerste beperking heeft betrekking op factoren die onbedoeld belastend of ontlastend zijn geweest voor het werkgeheugen. In de praktijk worden leerlingen tijdens de rekenlessen gestimuleerd om rekentaken op papier uit te werken zodat leerkrachten inzicht krijgen in hoe het oplossingsproces is verlopen. Een bijkomend voordeel is dat door gebruik van uitrekenpapier het werkgeheugen tussentijds ontlast kan worden. Hierbij wordt de kans dat er tijdens het verwerkingsproces fouten worden gemaakt verkleind. Vanwege het exploratieve karakter van huidig onderzoek is de keuze gemaakt om geen gebruik te maken van uitrekenpapier, waardoor complexe en meervoudige bewerkingen volledig in het werkgeheugen moesten worden uitgevoerd. De toetsitems zijn alleen op productniveau (goed of fout) beoordeeld, waardoor het niet duidelijk is of fouten zijn ontstaan door overbelasting van het werkgeheugen of door een gebrek aan de benodigde kennis en vaardigheden. Om in de toekomst de resultaten beter te kunnen duiden is het raadzaam om het gebruik van kladpapier te overwegen. Ook het toepassen van een *dual-task* meting kan meer duidelijkheid geven over de denkprocessen van leerlingen. Zo paste Manastirean (2017) een *dual-task* meting toe door studenten hardop te laten denken. Op deze wijze kan meer informatie verkregen worden over het proces tijdens het maken van toetsitems en kunnen de toetsresultaten mogelijk beter verklaard worden.

Daarnaast zijn er enkele beperkingen in de procedure die mogelijk van invloed zijn geweest op de toetsresultaten en cognitieve belasting. Zo namen de twee werkgeheugentaken die aan het begin van het onderzoek werden uitgevoerd bijna de helft van de totale onderzoekstijd in beslag. Doordat de werkgeheugentaken opliepen in moeilijkheidsgraad en de software een ingebouwde afbreeknorm bevatte, waren de leerlingen niet tegelijk klaar met de werkgeheugentaken. Leerlingen die goed presteerden op de werkgeheugentaken maakten in verhouding meer items, dan leerlingen waarbij de taak eerder werd afgebroken. Hierdoor is er een verschil in belasting én een verschil in de tijdsinvestering ontstaan met betrekking tot de werkgeheugentaken.

Daarnaast is ervoor gekozen om leerlingen tussentijds te laten stillezen, zodat alle leerlingen tegelijk instructie kregen over de vervolgtaken. Binnen het primair onderwijs kan men verwachten dat leerlingen onderling grote verschillen in technische leesvaardigheden hebben, omdat zij nog in een leerproces zitten. Hierdoor kan het effect van tussentijds stillezen eveneens een verschil in cognitieve belasting tussen leerlingen teweeg hebben gebracht, waarbij veronderstelt kan worden dat sterke lezers minder cognitieve belasting ervaren dan zwakke lezers. Voor vervolgonderzoek is het daarom zinvol om deze onbedoelde extra cognitieve belasting te beperken en voor alle leerlingen zoveel mogelijk gelijk te houden.

Naast dat er verschillen tussen leerlingen in technisch lezen zijn, zijn er binnen het primair onderwijs ook onderlinge verschillen in begrijpend lezen. Uit onderzoek is bekend dat leerlingen met

zwakke vaardigheden voor begrijpend lezen vaak ook moeite hebben met het begrijpen van rekentaken (Björn, Aunola & Nurmi, 2016; Fesel, Segers, Clariana & Verhoeven, 2015). Molina, Navarro, Ortega en Lacruz (2018) hebben onderzoek gedaan naar het toepassen van multimedialprincipes in een rekentoets bij leerlingen uit het primair onderwijs. Zij zagen dat leerlingen die beschikten over goede vaardigheden voor begrijpend lezen het beter deden dan leerlingen die hier meer moeite mee hadden. Zij konden teksten sneller verwerken, waren beter in staat tekst en afbeeldingen met elkaar te combineren en waren sneller in het vinden van relevante informatie. Voor vervolgonderzoek onder leerlingen van het primair onderwijs kan het daarom interessant zijn om begrijpend lezen als modererende variabele mee te nemen in het onderzoek.

Tot slot, heeft de laatste beperking betrekking op het toetsontwerp. Zo zijn er vijf toetsitems per conditie aangepast, waardoor er mogelijk onvoldoende onderscheidend vermogen is geweest tussen de aangepaste en niet-aangepaste items. Daarnaast bleek dat enkele aangepaste items niet optimaal ontworpen zijn volgens de CTML-principes, waardoor leerlingen mogelijk niet optimaal hebben kunnen profiteren. Zo werd geconstateerd dat de functie van afbeeldingen in de aangepaste en niet-aangepaste items onbedoeld zijn veranderd door het ontwerp. Afbeeldingen uit de niet-aangepaste condities zijn authentiek gelaten, waardoor deze niet-relevante informatie bevatten. Daarentegen bevatten afbeeldingen in de aangepaste condities uitsluitend relevante informatie. Hierdoor is er onbedoeld een verschil in functie van de afbeeldingen ontstaan, dat mogelijk geleid heeft tot neveneffecten. Daarnaast is er gebruik gemaakt van toetsitems die oorspronkelijk bedoeld zijn om formatief kennis en vaardigheden te meten. Dit betekent dat de toets items bevat met een uiteenlopende moeilijkheidsgraad, waardoor er items zijn die aansluiten bij het niveau van midden groep 7, maar ook dat er items zijn die moeilijker of makkelijker waren. De toetsitems zijn binnen huidige onderzoek gebruikt voor een beheersingstoets, waardoor de functie van de toetsitems is veranderd. Voor vervolgonderzoek is het daarom aan te bevelen tijdens het ontwerp goed te kijken naar het doel van de toets en hier de toetsitems op aan te laten sluiten.

Voor zover bekend is dit de eerste exploratieve studie naar de rol van werkgeheugencapaciteit binnen multimediale CBT. Dit onderzoek levert aanknopingspunten voor vervolgonderzoek, met name voor onderzoek binnen het primair onderwijs. De resultaten impliceren dat rekening houden met verschillen in werkgeheugencapaciteit minder van belang is bij het ontwerpen van rekentoetsen dan bij het ontwerpen van leermateriaal. Deze studie sluit hiermee aan bij het onderzoek van Jarodzka et al. (2015), waarin zij concluderen dat hetgeen bekend is vanuit CTML niet zondermeer toepasbaar is op multimediale CBT. In dit stadium van het onderzoek is het nog te vroeg om gerichte aanbevelingen voor de onderwijspraktijk te kunnen geven. Dit betekent dat er eerst meer onderzoek gedaan moet worden om tot goed onderbouwde ontwerpprincipes voor multimediale CBT te komen.

## Referenties

- Aalpoel, F.J. (2020). *Beïnvloeden Seductive Details in Toetsitems de Interesse, Cognitieve Belasting, het Resultaat en de Benodigde Tijd?* [Masterthesis]. Open Universiteit.
- Alloway, T., & Alloway, R. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106, 20–29.  
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.11.003>
- Alloway, T., Gathercole, S., & Pickering, S. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: Are they separable? *Child Development*, 77, 1698–1716.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x>
- Ayres, P., & Cierniak, G. (2012). Split-Attention Effect. In: N.M. Seel (Ed.) *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 3172-3175). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_19)
- Ayres, P., & Sweller, J. (2014). The split-attention principle in multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.) *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 135–146). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511816819.009>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417–423. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Beddow, P. A. (2018). Cognitive load theory for test design. In S. N. Elliot et al. (Eds.), *Handbook of Accessible Instruction and Testing Practices* (pp. 199-210). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71126-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71126-3_13)
- Berends, I. E., & Van Lieshout, E. C. (2009). The effect of illustrations in arithmetic problem-solving: Effects of increased cognitive load. *Learning and Instruction*, 19, 345–353.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.06.012>
- Björn, P. M., Aunola, K., & Nurmi, J. E. (2014). Primary school text comprehension predicts mathematical word problem-solving skills in secondary school. *Educational Psychology*, 36, 1–16. <https://doi.org/10.1080/01443410.2014.992392>
- Bobis, J., Sweller, J., & Cooper, M. (1993). Cognitive load effects in a primary school geometry task. *Learning and Instruction*, 3, 1-21. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(09\)80002-9](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(09)80002-9)

- Bolks, K.M. (2020). *Het effect van Redundancy op Cognitieve belasting en toetsprestaties bij computer-gebaseerde toetsen* [masterthesis]. Open Universiteit.
- Cito (2008). Reken-Wiskunde: Opgavenboekje M7. Cito.
- Creswell, J. W. (2014). Educational research: planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research. Essex: Pearson.
- Doolittle, P.E., Terry, K.P., & Mariano, G.J. (2009). The effects of working memory capacity on learning and performance in multimedia learning environments. In R. Zheng (Ed.), *Cognitive effects of multimedia learning* (pp. 17–33). Idea Group.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369>
- Elliott, S. N., Kettler, R. J., Beddow, P. A., & Kurz, A. (2018). *Handbook of Accessible Instruction and Testing Practices. Issues, innovations and applications* (2nd ed.). New York: Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-71126-3>
- Fesel, S.S., Segers, E., Clariana, R.B., & Verhoeven, L. (2015). Quality of children's knowledge representations in digital text comprehension: Evidence from pathfinder networks. *Computers in Human Behavior*, 48, 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.014>
- Friso-van den Bos, I., Van der Ven, S., Kroesbergen, E., & Van Luit, J. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 10, 29–44. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.05.003>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.  
<https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>
- Geneugelijk, D. (2020). *Het effect van het nabijheidsprincipe op toetsprestaties en cognitieve belasting bij computer-gebaseerd toetsen* [masterthesis]. Open Universiteit.
- Holmes, J., & Adams, J. (2007). Working memory and children's mathematical skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology*, 26(3), 339-366. <https://doi.org/10.1080/01443410500341056>
- Hop, M., Janssen J., & Engelen, R. (2017). *Wetenschappelijke verantwoording Rekenen-Wiskunde 3.0 voor groep 7*. Cito.
- Jarodzka, H., Janssen, N., Kirschner, P. A., & Erkens, G. (2015). Avoiding split attention in computer-based testing: Is neglecting additional information facilitative? *British Journal of Educational Technology*, 46, 803-817. <https://doi.org/10.1111/bjet.12174>

- Jarodzka, H., & Kirschner, P. (2014). Digitale toetsen: Waar moet je op letten? In A. Ten Brummelhuis, S. Peters & M. Van Amerongen (Eds.), *4W: Weten Wat Werkt en Waarom* (3rd ed., pp. 24-31). Kennisnet.
- Kalyuga, S. (2014). The Expertise Reversal Principle in Multimedia Learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 576–597). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139547369.028>
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2014). The redundancy principle in multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 247–262). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139547369.013>
- Kester, L., & Van Merriënboer, J. (2013). Effectief leren van multimediale leerbronnen. In A. Ten Brummelhuis, S. Peters & M. Van Amerongen (Eds.), *4W: Weten Wat Werkt en Waarom* (2nd ed., pp. 14–51). Kennisnet.
- Kirschner, P.A., Park, B., Malone, S., & Jarodzka, H. (2016). Toward a cognitive theory of multimedia assessment (CTMMA). In J. M. Spector, B. B. Lockee, & M. D. Childress (Eds.), *Learning, design, and technology* (pp. 1-23). Springer. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-17727-4\\_53-1](http://doi.org/10.1007/978-3-319-17727-4_53-1)
- Korbach, A., Brünken, R., & Park, B. (2018). Differentiating different types of cognitive load: A comparison of different measures. *Educational Psychology Review*, 30, 503-529. <https://doi.org/10.1007/s10648-017-9404-8>
- Lindner, M. A., Eitel, A., Barenthien, J., & Köller, O. (2018). An integrative study on learning and testing with multimedia: Effects on students' performance and metacognition. *Learning and Instruction*. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.01.002>
- Lusk, D. L., Evans, A. D., Jeffrey, T. R., Palmer, K. R., Wikstrom, C. S., & Doolittle, P. E. (2009). Multimedia learning and individual differences: Mediating the effects of working memory capacity with segmentation. *British Journal of Educational Technology*, 40, 636–651. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00848.x>
- Manastirean, C.S. (2017). 'Minder zoeken, beter toetsen'. Een eye tracking onderzoek naar de toepassing van de instructieprincipes uit de Cognitive Theory of Multimedia Learning bij het ontwerpen van computergebaseerde toetsing [masterthesis]. Open Universiteit.

- Mayer, R. E. (2008). Applying the science of learning: Evidence-based principles for the design of multimedia instruction. *American Psychologist*, 63, 760–769. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.63.8.760>
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge handbook of multimedia Learning*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511816819.009>
- Mayer, R., & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12, 107–119. [https://doi.org/10.1016/s0959-4752\(01\)00018-4](https://doi.org/10.1016/s0959-4752(01)00018-4)
- Mellor, D., & Moore, K.A. (2014). The Use of Likert Scales With Children. *Journal of Pediatric Psychology*, 39(3), 369–379. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jst079>
- Molina, A.I., Navarro, S., Ortega, M., & Lacruz, M. (2018). Evaluating multimedia learning materials in primary education using eye tracking. *Computer Standards & Interfaces*, 59, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.02.004>
- Montoya, A. K., & Hayes, A. F. (2017). Two-condition within-participant statistical mediation analysis: A path-analytic framework. *Psychological Methods*, 22(1), 6–27. <https://doi.org/10.1037/met0000086>
- Onderwijsraad. (2017, mei). *Doordacht digitaal: Onderwijs in het digitale tijdperk*. <https://www.onderwijsraad.nl/upload/documents/publicaties/volledig/Doordacht-digitaal-a.pdf>
- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429–434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38, 63–71. [https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801\\_8](https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8)
- Sanchez, C. A., & Wiley, J. (2006). An examination of the seductive details effect in terms of working memory capacity. *Memory and Cognition*, 34, 344–355. <https://doi.org/10.3758/BF03193412>
- Skuballa, I. T., Schwonke, R., & Renkl, A. (2012). Learning from narrated animations with different support procedures: Working memory capacity matters. *Applied Cognitive Psychology*, 26, 840–847. <https://doi.org/10.1002/acp.2884>
- SLO. (2016, januari). *Doel en functie van toetsing*. <http://handreikingschoolexamen.slo.nl/maatschappijwetenschappen/toetsen-in-het-schoolexamen/doel-en-functie-van-toetsing>

- Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. *Psychology of Learning and Motivation*, 55, 37–76.  
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-387691-1.00002-8>
- Sweller, J. (2016). Working memory, long-term memory, and instructional design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5, 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/a:1022193728205>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 Years later. *Educational Psychology Review*, 31, 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Toll, S., Van der Ven, S., Kroesbergen, E., & Van Luit, J. (2010). Executive functions as predictors of math learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 44, 521–532.  
<https://doi.org/10.1177/0022219410387302>
- Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E., Jolani, S., & Van Luit, J. E. H. (2015). The monkey game: A computerized verbal working memory task for self-reliant administration in primary school children. *Behavior Research Methods*, 48, 756–771.  
<https://doi.org/10.3758/s13428-015-0607-y>
- Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E. H., Prast, E. J., & Van Luit, J. E. H. (2014). Validity and reliability of an online visual–spatial working memory task for self-reliant administration in school-aged children. *Behavior Research Methods*, 47, 708–719.  
<https://doi.org/10.3758/s13428-014-0469-8>
- Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2014). Verbal and visual-spatial working memory and mathematical ability in different domains throughout primary school. *Memory & Cognition*, 43, 367–378. <https://doi.org/10.3758/s13421-014-0480-4>
- Van der Ven, S., Kroesbergen, E., Boom, J., & Leseman, P. (2012). The structure of executive functions in children: A closer examination of inhibition, shifting, and updating. *British Journal of Developmental Psychology*, 31, 70–87. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835x.2012.02079.x>
- Van Gog, T. (2014). The signaling (or cueing) principle in multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 263–278). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.014>
- Van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in



- educational research. *Educational Psychologist*, 43, 16–26.  
<https://doi.org/10.1080/00461520701756248>
- Van Grootheest, L., Huitema, S., & De Jong, M. (2008). *De wereld in getallen: Toetsboek 7*. Malmberg.
- Van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2012). *Ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design*. Routledge. <https://doi.org/10.1007/s11528-018-0254-0>
- Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17, 147–177.  
<https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>
- Wiley, J., Sanchez, C. A., & Jaeger, A. J. (2014). The individual differences in working memory capacity principle in multimedia learning. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, 598–620. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139547369.029>

**Bijlage A**  
**Rekentoets *redundancy* items**

**Figuur A.1**

*Toetsitem 1, Redundancy Niet-aangepast (RO01)*

Paulien en John gaan op vakantie naar Spanje. Op de heenweg rijden ze 2735 km. Op de terugweg rijden ze 3487 km. Hoeveel km hebben ze in totaal gereden?



**Figuur A.2**

*Toetsitem 1, Redundancy Aangepast (RA01)*

Paulien en John gaan op vakantie naar Spanje.  
Op de afbeelding staat hoeveel km ze reden.  
Hoeveel km hebben ze in totaal gereden?



### Figuur A.3

*Toetsitem 2, Redundancy Niet-aangepast (RO02)*

Clown Maarten koopt 7 van deze fietsen voor het circus. De fietsen kosten €299,- per stuk. Hoeveel euro moet hij betalen?



### Figuur A.4

*Toetsitem 2, Redundancy Niet-aangepast (RA02)*

Clown Maarten koopt 7 van deze fietsen voor het circus. Hoeveel euro moet hij betalen?



### Figuur A.5

*Toetsitem 7, Redundancy Niet-aangepast (RO07)*

Deze vier mensen hebben samen €10.000,- gewonnen. Ze verdelen het geld eerlijk. Hoeveel krijgt ieder?



### Figuur A.6

*Toetsitem 7, Redundancy Aangepast (RA07)*

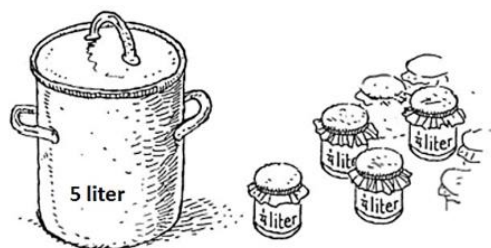
Deze mensen hebben het bedrag op de afbeelding gewonnen. Ze verdelen het geld eerlijk. Hoeveel krijgt ieder?



### Figuur A.7

*Toetsitem 7, Redundancy Aangepast (RO08)*

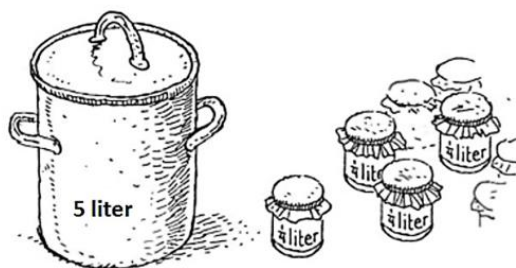
Machteld heeft vijf liter jam gemaakt. Ze doet de jam in potjes van  $\frac{1}{4}$  liter. Hoeveel potjes van  $\frac{1}{4}$  liter heeft ze nodig?



### Figuur A.8

*Toetsitem 7, Redundancy Aangepast (RA08)*

Machteld heeft jam gemaakt. Ze doet de jam in potjes. Hoeveel potjes van  $\frac{1}{4}$  liter heeft ze nodig?



### **Figuur A.10**

*Toetsitem 9, Redundancy Niet-aangepast (RO09)*

Oma Jo heeft een cadeaubon van 60 euro. De vaas op de afbeelding kost €14,49 per stuk. Hoeveel van onderstaande vazen kan oma in totaal kopen met de bon?



### **Figuur A.11**

*Toetsitem 9, Redundancy Aangepast (RO09)*

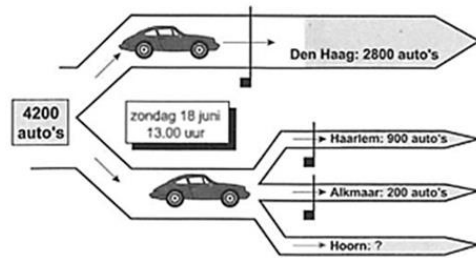
Oma Jo heeft een cadeaubon van 60 euro. Hoeveel van onderstaande vazen kan oma in totaal kopen met de bon?



### Figuur A.12

#### *Toetsitem 10, Redundancy Niet-aangepast (RO10)*

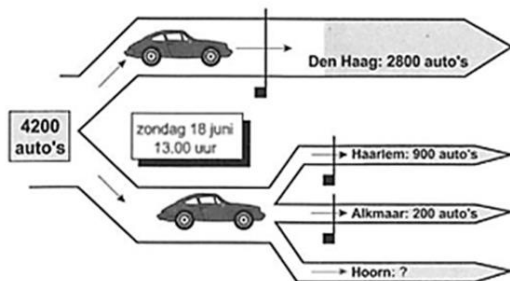
Zo reden de auto's op zondag 18 juni om één uur 's middags. 2800 auto's van de 4200 reden in de richting van Den Haag. Naar Haarlem reden 900 auto's en naar Alkmaar 200 auto's. Hoeveel auto's reden in de richting van Hoorn?



### Figuur A.13

#### *Toetsitem 10, Redundancy Aangepast (RO10)*

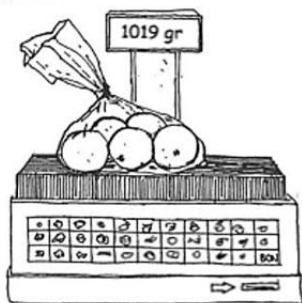
Op de afbeelding staat hoe de auto's reden.  
Hoeveel auto's reden in de richting van Hoorn?



### Figuur A.14

#### *Toetsitem 12, Redundancy Niet-aangepast (RO12)*

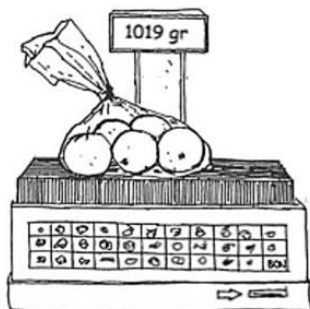
Op de afbeelding hieronder staat dat vijf appels ongeveer 1019 gram wegen. Hoeveel gram weegt dan één appel ongeveer?



### Figuur A.15

#### *Toetsitem 12, Redundancy Aangepast (RO12)*

Op de afbeelding hierboven staat hoeveel de appels wegen. Hoeveel gram weegt dan één appel ongeveer?





### Figuur A.16

#### Toetsitem 15, Redundancy Niet-aangepast (RO15)

Demi gaat met haar kat naar de dierenarts. Het bezoek kost €22,25. Ze koopt ook nog een doos met pillen van €8,45 en een doos met pillen van €7,75. Hoeveel moet Demi betalen?



### Figuur A.17

#### Toetsitem 15, Redundancy Aangepast (RA15)

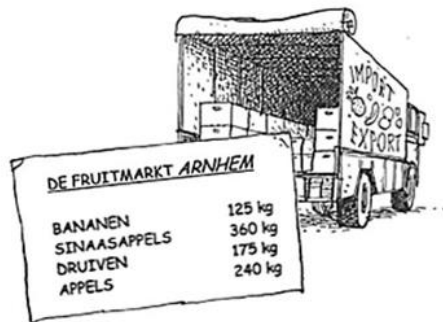
Demi gaat met haar kat naar de dierenarts. Op het bord staat hoeveel het bezoek kost. Demi koopt ook onderstaande twee dozen met pillen. Hoeveel moet Demi betalen?



### Figuur A.17

*Toetsitem 16, Redundancy Niet-aangepast (RO16))*

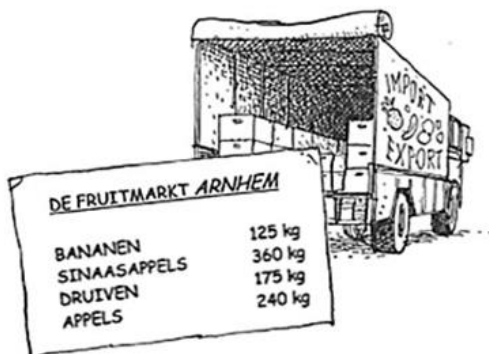
In de vrachtwagen zit 1200 kg fruit. De chauffeur laadt het fruit voor De Fruitmarkt uit: 125 kg bananen, 360 kg sinaasappels, 175 kg druiven en 240 kg appels. De rest gaat naar een andere winkel. Hoeveel kg gaat naar een andere winkel?



### Figuur A.18

*Toetsitem 16, Redundancy Aangepast (RA16)*

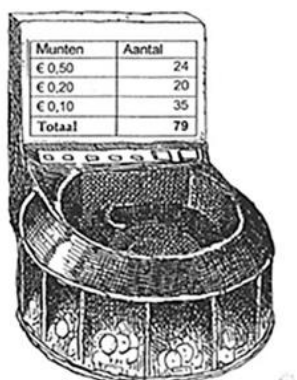
In de vrachtwagen zit 1200 kg fruit. Op de afbeelding staat het fruit dat de chauffeur uitlaadt voor De Fruitmarkt. De rest gaat naar een andere winkel. Hoeveel kg gaat naar een andere winkel?



### Figuur A.19

*Toetsitem 19, Redundancy Niet-aangepast (RO19)*

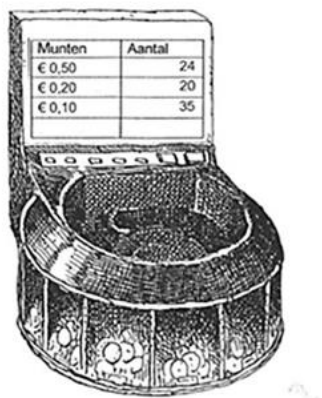
De telmachine heeft 79 munten geteld. 24 munten van 50 cent, 20 munten van 20 cent en 35 munten van 10 cent. Hoeveel euro zijn deze munten samen waard?



### Figuur A.20

*Toetsitem 19, Redundancy Aangepast (RA19)*

De telmachine heeft 79 munten geteld.  
Hoeveel euro zijn deze munten samen waard?

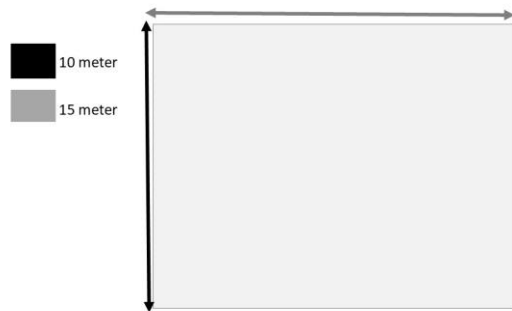


**Bijlage B**  
**Rekentoets *split-attention* items**

**Figuur B.1**

*Toetsitem 3, Split-attention Niet-aangepast (SO03)*

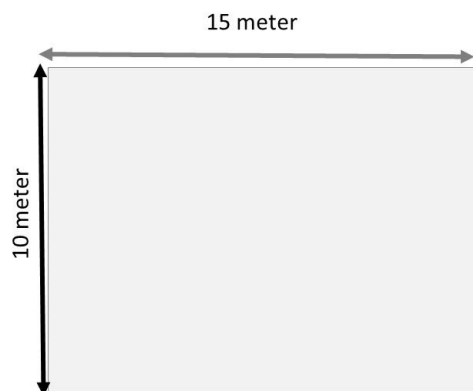
Hoe groot is de oppervlakte van het grasveld hieronder?



**Figuur B.2**

*Toetsitem 3, Split-attention Aangepast (SA03)*

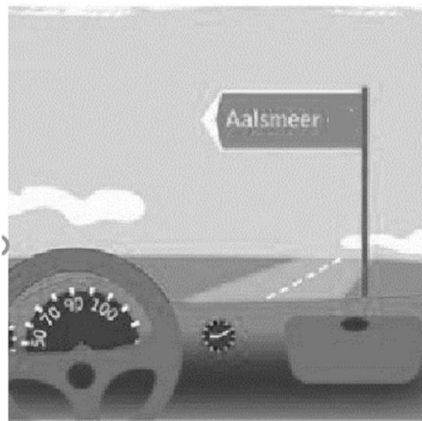
Hoe groot is de oppervlakte van het grasveld hieronder?



### **Figuur B.3**

*Toetsitem 4, Split-attention Niet-aangepast (SO04)*

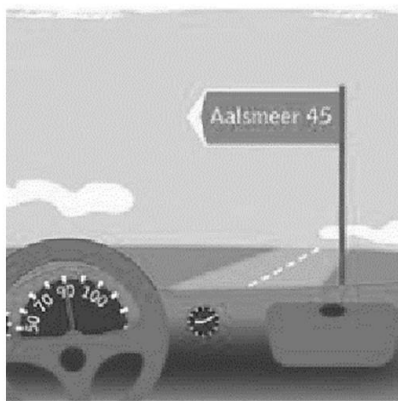
Piet rijdt 90 km per uur. Hij moet naar Aalsmeer, dat is 45 km rijden.  
Hoeveel minuten doet Piet erover om in Aalsmeer te komen?



### **Figuur B.4**

*Toetsitem 4, Split-attention Aangepast (SA04)*

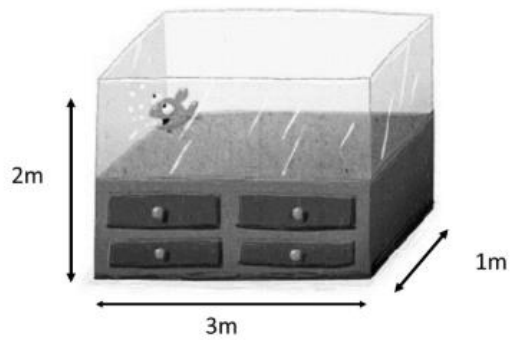
Hieronder zie je hoe hard Piet rijdt en de afstand tot Aalsmeer. Hoeveel minuten doet Piet erover om in Aalsmeer te komen?



### Figuur B.5

Toetsitem 5, *Split-attention Niet-aangepast (SO05)*

Op de afbeelding zie je de maten van de kast. De helft van de kast is aquarium.



Hoeveel liter water zit er in het aquarium als het helemaal vol is?

---

 liter

### Figuur B.6

Toetsitem 5, *Split-attention Aangepast (SA05)*

De helft van de kast hieronder (2m hoog x 3m breed x 1 m lang) is aquarium.

Hoeveel liter water zit er in het aquarium als het helemaal vol is?



---

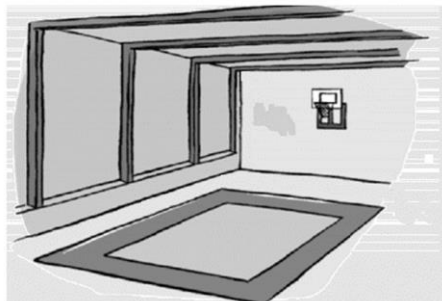
 liter

### Figuur B.7

*Toetsitem 6, Split-attention Niet-aangepast (SO06)*

Hiernaast zie je een judozaal.  
Deze is 7 meter lang, 5 meter  
breed en 3 meter hoog.

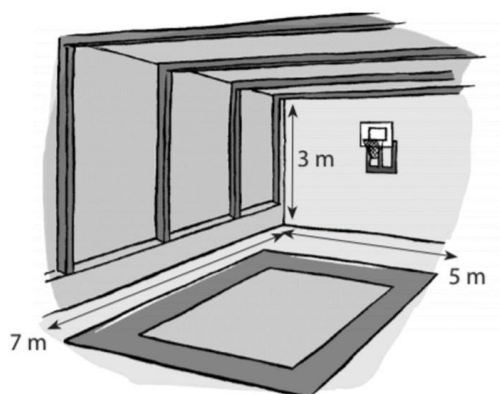
Wat is de inhoud van deze zaal?



### Figuur B.8

*Toetsitem 6, Split-attention Aangepast (SA06)*

Hieronder zie je de afmetingen van een judozaal.  
Wat is de inhoud van de zaal?



### **Figuur B.9**

#### *Toetsitem 11, Split-attention Niet-aangepast (SO11)*

Voor het flesje op de afbeelding wordt de inhoud weergegeven in cl. Hoeveel is de inhoud van het flesje omgerekend in ml?



### **Figuur B.10**

#### *Toetsitem 11, Split-attention Aangepast (SA11)*

Voor het flesje op de afbeelding wordt de inhoud weergegeven in cl.  
Wat is de inhoud van het flesje in ml?

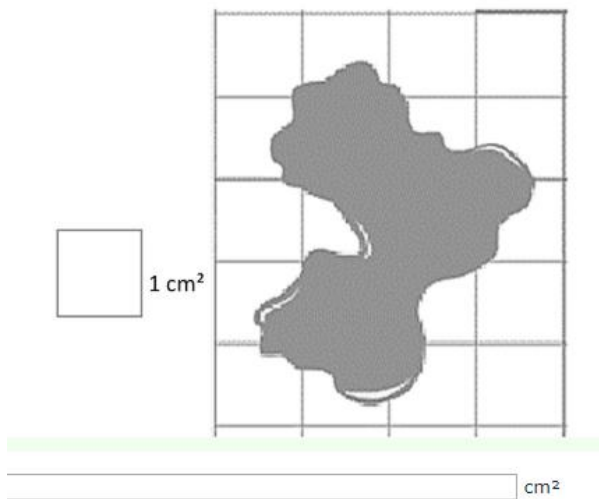




### Figuur B.11

Toetsitem 13, Split-attention Niet-aangepast (SO13)

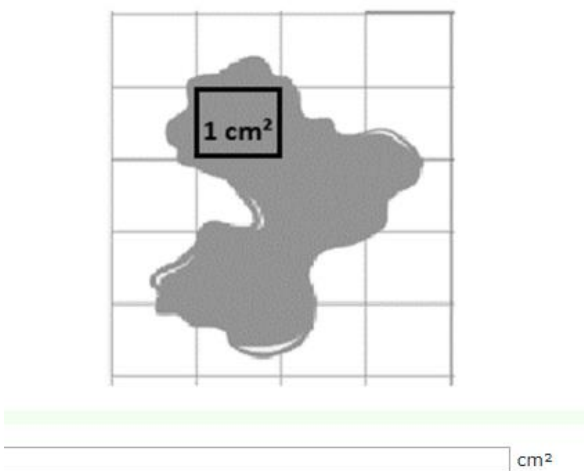
Hoeveel  $\text{cm}^2$  is de oppervlakte van het figuur hieronder ongeveer?



### Figuur B.12

Toetsitem 13, Split-attention Aangepast (SA13)

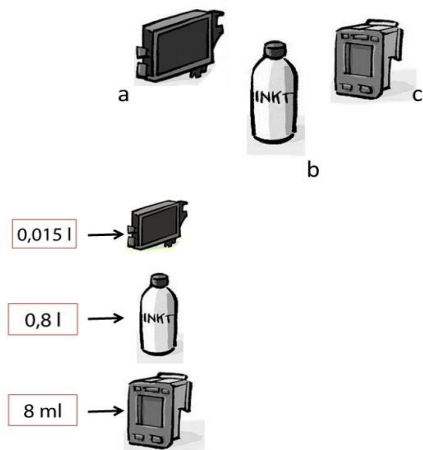
Hoeveel  $\text{cm}^2$  is de oppervlakte van onderstaand figuur ongeveer?



### Figuur B.13

*Toetsitem 14, Split-attention Niet-aangepast (SO14)*

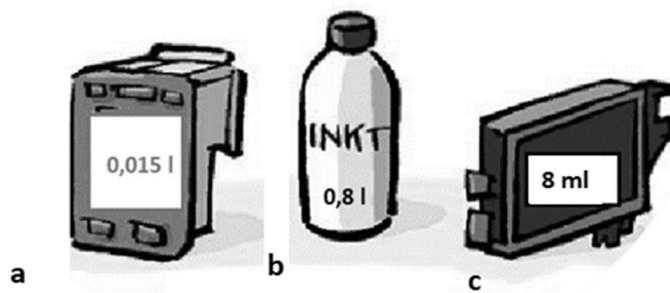
In welke verpakking zit het meest? Vul in a, b of c.



### Figuur B.14

*Toetsitem 14, Split-attention Aangepast (SA14)*

In welke verpakking zit het meest? Vul in a, b of c.



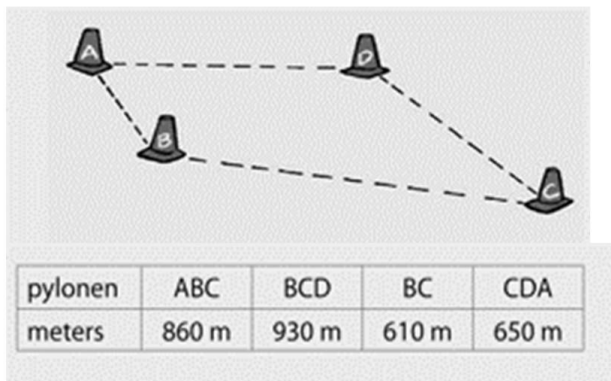
### Figuur B.15

*Toetsitem 17, Split-attention Niet-aangepast (SO17)*

De afstand van pylon A naar B naar C is 860 m.

De afstand van pylon B naar C is 610 m.

Wat is de afstand tussen pylon A en B?



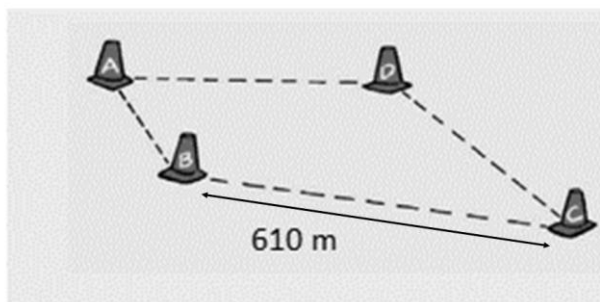
### Figuur B.16

*Toetsitem 17, Split-attention Aangepast (SA17)*

De afstand van pylon A naar B naar C is 860 m.

Op het plaatje zie je de afstand van B naar C.

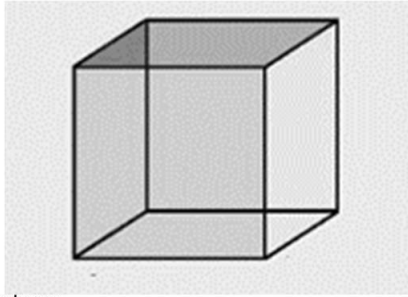
Wat is nu de afstand tussen pylon A en B?



### Figuur B.17

*Toetsitem 18, Split-attention Niet-aangepast (SO18)*

Hieronder zie je een aquarium. Deze is 2 dm breed, 3 dm lang en 3 dm hoog. Hoeveel liter water heb je nodig om het aquarium helemaal te vullen?



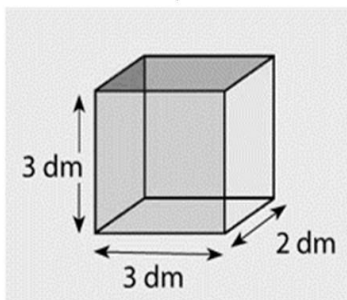
Let op:

$$1 \text{ dm} \times 1 \text{ dm} \times 1 \text{ dm} = 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l}$$

### Figuur B.18

*Toetsitem 18, Split-attention Aangepast (SA18)*

Op de afbeelding hieronder zie je de maten van een aquarium.



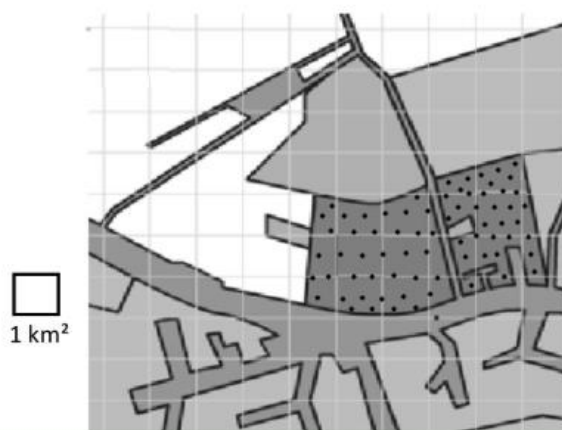
Hoeveel liter water heb je nodig om het aquarium helemaal te vullen?

Let op:  $1 \text{ dm} \times 1 \text{ dm} \times 1 \text{ dm} = 1 \text{ dm}^3$

### Figuur B.19

Toetsitem 20, *Split-attention Niet-aangepast (SO20)*

Wat is de oppervlakte van het gestippelde figuur hieronder ongeveer?

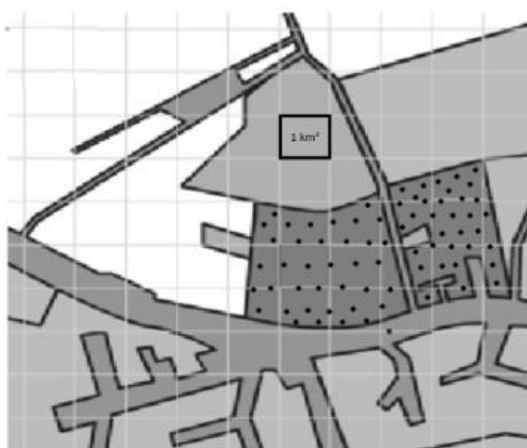


\_\_\_\_\_ km²

### Figuur B.20

Toetsitem 20, *Split-attention Aangepast (SA20)*

Hoe groot is de oppervlakte van onderstaande gestippelde figuur ongeveer?



\_\_\_\_\_ km²

## Bijlage C

### Correlaties van de gebruikte variabelen zonder items met een hoge moeilijkheidsgraad

**Tabel E.1**

*Correlaties tussen de Gebruikte Variabelen van dit Onderzoek, Zonder Items 5, 12, 13 en 20*

		Correlatie									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Werkgeheugencapaciteit											
1	Ruimtelijk-visueel	-									
2	Verbaal	.245*	-								
Toetsresultaten											
3	Redundancy aangepast	.028	.144	-							
4	Redundancy niet aangepast	.032	.226*	.410**	-						
5	Split aangepast	.099	-.019	.397**	.402**	-					
6	Split niet-aangepast	.164	-.050	.398**	.237*	.279**	-				
Cognitieve belasting											
7	Redundancy aangepast	.002	-.064	-.558**	-.346**	-.301**	-.150	-			
8	Redundancy niet-aangepast	-.065	-.093	-.465**	-.575**	-.333**	-.258*	.809**	-		
9	Split aangepast	-.075	-.070	-.434**	-.286**	-.281**	-.269**	.799**	.763**	-	
10	Split niet-aangepast	.048	.009	-.381**	-.356**	-.227*	-.295**	.767**	.752**	.818**	-

*Notitie.*  $N = 96$

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$